

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

“EFECTOS DE LA POSICIÓN FISIOGRÁFICA EN LAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DE LOS SUELOS DE PÁRAMO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ZHURUCAY”

Tesis Previa a la Obtención del Título de:
Ingeniero Agrónomo

AUTORES:

GABRIEL ADOLFO AUCAPIÑA CHACA
FRANKLIN GEOVANNY MARÍN MOLINA

DIRECTOR:

ING. PATRICIO JAVIER CRESPO SÁNCHEZ PH.D.

CUENCA - ECUADOR

2014



RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación es identificar los efectos de la posición fisiográfica sobre las propiedades hidrofísicas de los suelos de páramo de la microcuenca del río Zhurucay, está ubicada en la zona de Quimsacocha y los suelos que sobresalen son: Andosoles y Histosoles. En la zona de estudio se trazaron 3 transectos transversales y a través del muestreo dirigido se describió 45 perfiles tomando en cuenta la posición fisiográfica, además se tomaron muestras inalteradas y alteras. En campo, se determinó la conductividad hidráulica saturada a través de las pruebas de pozo y pozo invertido. En el laboratorio mediante las muestras inalteradas y alteradas se determinó los contenidos de humedad en seis puntos pF. Además, se determinó los contenidos de agua gravitacional y agua disponible. La densidad aparente se determinó mediante las muestras inalteradas. Debido a la importancia de la materia orgánica se determinó su contenido mediante el método de ignición.

Mediante pruebas no paramétricas se comparó la profundidad de los suelos y las propiedades hidrofísicas de los horizontes superficiales de las 6 posiciones fisiográficas identificadas. Los resultados demostraron que la posición fisiográfica afecta significativamente la profundidad de los suelos encontrando en fondo de valle suelos más profundos. En los horizontes superficiales, la mayoría de propiedades hidrofísicas y el contenido de materia orgánica también mostraron ser afectadas significativamente por la posición fisiográfica encontrando diferencias muy marcadas entre los horizontes de fondo de valle con los de ladera media, ladera alta y cumbre. Finalmente se estudió las relaciones existentes entre las propiedades hidrofísicas como también con la materia orgánica.

PALABRAS CLAVES: CONTENIDO DE HUMEDAD. DENSIDAD APARENTE. PÁRAMO, POSICIÓN FISIOGRÁFICA. PROPIEDADES HIDROFÍSICAS.



ABSTRACT

The aim of this investigation is identify the effects of the physiographic position on the hydrophysical properties of the soil moorland of the watershed of the Zhurucay river, it is located in the area of Quimsacocha and soils that jut are Andosols and Histosols. In the upper part of the watershed of the Zhurucay were delineated 3 transects and were described 45 profiles taking into account the physiographic position. Furthermore in each location were took disturbed and undisturbed samples. A property that was analyzed on field was the saturated hydraulic conductivity across of the auger hole method and inversed auger hole. In laboratory by means of the disturbed and undisturbed samples were determined the moisture contents in 6 points pF. Furthermore, by means of the moisture contents were determined the gravitational water contents and available water. Bulk density was determined with undisturbed samples. Due to the importance of organic matter of the soils was determined the content of organic matter with ignition method.

By means of the no parametric tests were compared the depth of the soils and hydrophysical properties of the surface horizons of 6 physiographic positions that were identified. The results showed that the physiographic position affect significantly in the depth of the soils where the valley bottom there are of great depth soils. Also in the surface horizons, majority of hydrophysical properties and organic matter contents showed to be affected by physiographic positions where the surface horizons of valley bottom showed differences with middle slope, upper slope and summit. Finally, the relations between hydrophysical properties as also with organic matter were studied.

KEY WORDS: MOISTURE CONTENT. BULK DENSITY. PARAMO. PHYSIOGRAPHIC POSITION. HYDROPHYSICAL PROPERTIES.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	3
3. OBJETIVOS	4
3.1. Objetivo general	4
3.2. Objetivos específicos	4
3.3. Hipótesis	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1. El páramo	5
4.2. Importancia del páramo	5
4.3. Factores formadores de los suelos	6
4.3.1. Material parental como factor de formación del suelo en los páramos	7
4.3.2. El clima como factor formador del suelo	7
4.3.3. Los organismos vivos	8
4.3.4. Geoforma y topografía (Relieve)	11
4.3.5. El tiempo	12
4.4. Los suelos de páramo	13
4.4.1. Andosoles	13
4.4.2. Histosoles	16
5. MATERIALES Y MÉTODOS	21
5.1. Área de estudio	21
5.1.1. Geología	22
5.1.2. Suelos	22
5.1.3. Clima	22
5.1.4. Cobertura del suelo	22
5.2. Metodología y Materiales	23
5.2.1. Identificación de los tipos de posición fisiográfica en el área de estudio	23
5.2.2. Caracterización de las propiedades hidrofísicas	24



5.2.3. Determinación de la materia orgánica.....	27
5.2.4. Determinación de la variabilidad de las propiedades hidrofísicas de los suelos según la posición fisiográfica	27
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
6.1. Identificación de los tipos de posición fisiográfica	29
6.2. Características de las propiedades de los suelos	31
6.2.1. Características de las propiedades de los suelos en fondo de valle.....	31
6.2.2. Características de las propiedades de los suelos en punta de ladera	33
6.2.3. Características de las propiedades de los suelos en ladera baja.....	35
6.2.4. Características de las propiedades de los suelos en ladera media	37
6.2.5. Características de las propiedades de los suelos en ladera alta	38
6.2.6. Características de las propiedades de los suelos en cumbre	40
6.3. Efectos de la posición fisiográfica sobre los suelos	41
6.3.1. Efectos de la posición fisiográfica sobre la profundidad de los suelos.....	42
6.3.2. Efectos de la posición fisiográfica sobre las propiedades hidrofísicas de los horizontes superficiales.....	44
6.3.3. Efectos de la posición fisiográfica sobre los contenidos de agua gravitacional (pF 0 – pF 2.3) y agua disponible (pF 2.3 – pF 4.2) de los horizontes superficiales	53
6.3.4. Efectos de la posición fisiográfica sobre los contenidos de materia orgánica de los horizontes superficiales	58
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
7.1. Conclusiones.....	62
7.2. Recomendaciones	63
8. BIBLIOGRAFÍA	64
9. ANEXOS	72
10. GLOSARIO.....	122



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de significancia.....	28
Tabla 2. Identificación de los tipos de posiciones fisiográficas	29
Tabla 3. Mediana y mínima – máxima de las propiedades de los suelos en fondo de valle.....	32
Tabla 4. Mediana y mínima – máxima de las propiedades de los suelos en punta de ladera	34
Tabla 5. Mediana y mínima – máxima de las propiedades de los suelos en ladera baja	36
Tabla 6. Mediana y mínima – máxima de las propiedades de los suelos en ladera media	38
Tabla 7. Mediana y mínima – máxima de las propiedades de los suelos en ladera alta	39
Tabla 8. Mediana y mínima – máxima de las propiedades de los suelos en cumbre.....	41
Tabla 9. Efectos de la posición fisiográfica en la profundidad de los suelos y las propiedades de los horizontes superficiales.....	42
Tabla 10. Resultados del test de U de Mann-Whitney de la profundidad del perfil de los suelos según la posición fisiográfica.....	43
Tabla 11. Medianas y mínima – máxima de las propiedades hidrofísicas de los horizontes superficiales.....	45
Tabla 12. Resultados del test de U de Mann - Whitney para identificar el efecto de la posición fisiográfica sobre las propiedades hidrofísicas en los horizontes superficiales.	46
Tabla 13. Matriz de correlaciones de las propiedades de los horizontes superficiales	51
Tabla 14. Resultados del test de U de Mann-Whitney de los contenidos de agua gravitacional y agua disponible	54
Tabla 15. Medianas de los contenidos de agua gravitacional y agua disponible de los horizontes superficiales según la posición fisiográfica	56
Tabla 16. Mediana y mínima – máxima de los contenidos de materia orgánica según la posición fisiográfica	59
Tabla 17. Resultados del test de U de Mann-Whitney de los contenidos de materia orgánica de los horizontes superficiales según la posición fisiográfica.	59



Tabla 18. Valores de correlación de la materia orgánica con las propiedades hidrofísicas de los horizontes superficiales61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Páramo de Quimsacocha	5
Figura 2. Clima de Quimsacocha.....	8
Figura 3. Vegetación del páramo de Quimsacocha	9
Figura 4. Organismos de los suelos de páramo.....	10
Figura 5. Perfil de un Andosol.....	15
Figura 6. Perfil de un Histosol	18
Figura 7. Gleyzación en los horizontes minerales de los Histosoles.....	20
Figura 8. Ubicación del área de estudio.....	21
Figura 9. Sitios de muestreo en la zona de estudio	23
Figura 10. Descripción del sitio	24
Figura 11. Descripción de perfil	24
Figura 12. Muestras inalteradas secadas a 105°C	26
Figura 13. Determinación de conductividad hidráulica saturada (Pozo invertido).....	26
Figura 14. Ignición de las muestras	27
Figura 15. Tipos de posiciones fisiográficas en una ladera	30
Figura 16. Diagrama de los contenidos de humedad del horizonte superficial de los suelos de fondo de valle	31
Figura 17. Diagrama de los contenidos de humedad del horizonte superficial de los suelos de punta de ladera	34
Figura 18. Diagrama de los contenidos de humedad del horizonte superficial de los suelos de ladera baja	36
Figura 19. Contenido de humedad del horizonte superficial de los suelos de ladera media	37
Figura 20. Diagrama de los contenidos de humedad del horizonte superficial de los suelos de ladera alta	39
Figura 21. Diagrama de los contenidos de humedad del horizonte superficial de los suelos de cumbre	40
Figura 22. Profundidad de los suelos según la posición fisiográfica	44



Figura 23. Diagrama de cajas de las propiedades hidrofísicas de los horizontes superficiales según la posición fisiográfica	47
Figura 24. Diagrama de cajas de los volúmenes de agua gravitacional y agua disponible de los horizontes superficiales según la posición fisiográfica.....	57
Figura 25. Contenidos de materia orgánica según la posición fisiográfica ...	60
Figura 26. Correlaciones entre materia orgánica con densidad aparente, contenidos de humedad en pF 0, pF 0.5 y pF 1.5.	61
Figura 27. Descripción del perfil.....	74
Figura 28. Toma de muestras inalteradas	76
Figura 29. Prueba de pozo invertido	78
Figura 30. Descripción de las lecturas de la prueba de pozo invertido	80
Figura 31. Prueba de pozo	83
Figura 32. Preparación de la muestra inalterada en laboratorio	85
Figura 33. Peso de las muestras	86
Figura 34. Muestras en la caja de succión.....	87
Figura 35. Muestras inalteradas en los extractores	88
Figura 36. Secado de las muestras inalteradas	88
Figura 37. Pasta saturada para determinar el contenido de humedad pF 3.4 y 4.2.....	89
Figura 38. Determinación de contenido de humedad en pF 3.4 y 4.2.....	90
Figura 39. Secado de las muestras alteradas.....	91
Figura 40. Determinación de la materia orgánica	94

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mediana y mínima – máxima de los Valores de la profundidad de los perfiles de cada posición fisiográfica	72
Anexo 2. Tabla de valores p de las correlaciones de las propiedades de los horizontes superficiales.....	72
Anexo 3: Descripción del perfil.....	73
Anexo 4: Toma de muestras alteradas e inalteradas	74



Anexo 5: Conductividad hidráulica saturada	76
Anexo 6: Curva de retención de humedad.....	84
Anexo 7: Densidad aparente	92
Anexo 8: Contenido de materia orgánica.....	93
Anexo 9: Descripción de los perfiles	96
Anexo 10: Ficha de datos de campo y de registro de lecturas del método de pozo invertido.....	119
Anexo 11: Ficha de datos de campo para pruebas de pozo.....	120
Anexo 12: Ficha de registro de las muestras en el laboratorio	121



Yo, Gabriel Adolfo Aucapiña Chaca, autor de la tesis “Efectos de la posición fisiográfica en las propiedades hidrofísicas de los suelos de páramo de la microcuenca del río Zhurucay”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Agrónomo. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, 18 de junio del 2014

Gabriel Adolfo Aucapiña Chaca

0104716337



Yo, Franklin Geovanny Marín Molina, autor de la tesis “Efectos de la posición fisiográfica en las propiedades hidrofísicas de los suelos de páramo de la microcuenca del río Zhurucay”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Agrónomo. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, 18 de junio del 2014

Franklin Geovanny Marín Molina

0105802375



Yo, Gabriel Adolfo Aucapiña Chaca, autor de la tesis “Efectos de la posición fisiográfica en las propiedades hidrofísicas de los suelos de páramo de la microcuenca del río Zhurucay”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 18 de junio del 2014

Gabriel Adolfo Aucapiña Chaca

0104716337



Yo, Franklin Geovanny Marín Molina, autor de la tesis “Efectos de la posición fisiográfica en las propiedades hidrofísicas de los suelos de páramo de la microcuenca del río Zhurucay”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 18 de junio del 2014

Franklin Geovanny Marín Molina

0105802375



1. INTRODUCCIÓN

El páramo es un ecosistema natural entre el límite del bosque cerrado y la nieve perpetua en los trópicos húmedos que cubre aproximadamente la región alto andina de Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú (Hofstede et al., 2003). En el Ecuador, el páramo cubre alrededor de 1.250.000 ha, es decir aproximadamente un 6% del territorio nacional (Mena & Medina, 2001). Es un ecosistema de clima frío, con una cobertura dominante de pajonales, rosetas, arbustos y pequeños bosquetes (Izco et al., 2007; Mena & Medina, 2001; Molinillo & Monasterio, 2002; Quichimbo et al., 2011).

El páramo es el mayor proveedor de agua para las regiones montañosas andinas de Venezuela, Colombia y Ecuador (Hofstede et al., 2003b; Ortiz et al., 2005). La calidad del agua del páramo es buena, y los ríos que se originan en el páramo tienen un flujo base alto y sostenido (Buytaert et al., 2006). Los suelos de páramo funcionan como un medio de regulación de los flujos hídricos: almacenamiento en periodo húmedo y liberación progresiva en periodo seco; el alto poder de infiltración de los suelos, controla además la intensidad de las crecidas. Sin embargo, el papel del páramo es igualmente importante en lo que respecta a la disponibilidad de agua para la población de los valles andinos ya que una gran parte de habitantes del Ecuador depende del agua almacenada en el páramo para su abastecimiento doméstico, riego en sus cultivos, y centrales hidroeléctricas (Laverde, 2008; Podwojewski, 1999; Recharte et al., 2003). Según algunos investigadores pese a que los suelos de páramo tiene mucha importancia como un suministrador de agua, la hidrología del páramo es poco entendida ya que en la actualidad no se conoce bien sobre la dinámica del agua en los suelos de páramo especialmente en los Histosoles. Esta situación ha llevado a que en los últimos tiempos exista una mala utilización de estos, dando como resultado la degradación de sus propiedades hidrofísicas (Bièvre, 2008; Buytaert, 2004; Crespo et al., 2010; Hofstede et al., 2002; Mena & Hofstede, 2006; Ortiz et al., 2005; Quichimbo et al., 2011). Para entender la importancia hídrica es necesario realizar estudios sobre las propiedades hidrofísicas de los suelos ya que según Buytaert et al., (2005); Bievre et al.,



(2006); Borja et al., (2008) & Hofstede (1997) estas son las responsables de la regulación y el almacenamiento del agua en el páramo, sin embargo es importante tomar en cuenta la posición fisiográfica ya que según la FAO (2009) está afecta las condiciones hidrológicas de los suelos, actuando como almacenadores de agua, transportadores o ninguno de ellos.

Debido a la gran importancia que tienen los suelos de páramo como reguladores y almacenadores de agua fue necesario realizar este estudio donde se identificó el tipo de posición fisiográfica de los suelos de páramo y se caracterizó las propiedades hidrofísicas de los suelos según la posición fisiográfica, además se determinó el contenido de materia orgánica. De esta manera se logró entender los efectos de la posición fisiográfica en dichas propiedades y comprender la dinámica del agua en los suelos de páramo, la capacidad de almacenamiento de agua, la génesis, la evolución y su distribución espacial.



2. JUSTIFICACIÓN

El ecosistema de páramo está ubicado sobre 3300 m s.n.m. entre el límite del bosque alto Andino y el de las nieves perpetuas en la alta montaña tropical húmeda, es caracterizado por su clima frío, vegetación endémica y suelos de alta regulación hídrica y almacenamiento de carbono (Buytaert et al., 2005). Este ecosistema ocupa el 6% del territorio nacional y provee de agua a la población de la Sierra Ecuatoriana debido a las propiedades hidrofísicas de los suelos que se encuentran en este ecosistema (Mena & Medina, 2001). Los suelos de páramo cumplen importantes funciones ecológicas y económicas para las tierras bajas circundantes, incluyendo el sustento de los caudales ecológicos, y la producción de agua para la agricultura, la producción de alimentos y generación de energía eléctrica (Buytaert et al., 2006).

Este estudio está relacionado con el efecto de la posición fisiográfica sobre las propiedades hidrofísicas de los suelos de páramo ya que según la FAO (2009), la posición fisiográfica afecta las propiedades hidrológicas de los suelos pudiendo ser estos interpretados como receptores de agua, transportadores de agua o ninguno de ellos. Además según Bievre et al., (2006); Hofstede (1997) y Borja et al., (2008) las propiedades hidrofísicas de los suelos de páramo cumplen una rol importante dentro del proceso de regulación en las cuencas hidrográficas y almacenamiento de agua pero pese a esta importancia son poco estudiadas dichas propiedades.

Finalmente con los resultados obtenidos en esta investigación se pudo comprender la dinámica del agua en los suelos de la zona de estudio, además se contribuye con información relevante para su uso, manejo adecuado, conservación de los páramos y futuras investigaciones.



3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Identificar los efectos de la posición fisiográfica sobre las propiedades hidrofísicas en los suelos de páramo en la microcuenca del Río Zhurucay para determinar las relaciones existentes entre ellas.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar los tipos de posición fisiográfica en el área de estudio.
- Caracterizar las propiedades hidrofísicas de los suelos según la posición fisiográfica.
- Determinar la variabilidad que existe en las propiedades hidrofísicas de los suelos con diferente posición fisiográfica.

3.3. Hipótesis

Esta investigación plantea la siguiente hipótesis:

- Las propiedades hidrofísicas están fuertemente influenciadas por la posición fisiográfica en la zona de estudio.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. El páramo

El páramo está constituido por valles y llanuras accidentadas, principalmente de formación glaciaria, se encuentra entre el límite continuo del bosque y el de las nieves perpetuas en la alta montaña tropical húmeda (Hofstede et al., 2003; Llambí et al., 2012; Mena & Hofstede, 2006). Existe complejidad en la definición de páramo ya que es considerado como: un ecosistema, un bioma, un paisaje (Figura 1), una superficie geográfica, una zona de vida, un espacio de producción, inclusive es un estado del clima, por lo tanto la definición de páramo puede ser distinta para un campesino que pasta sus animales o para un biólogo, edafólogo, hidrólogo, etc., en su investigación, sin embargo al páramo se puede definir simplemente como un ecosistema natural entre el límite del bosque alto Andino y la nieve perpetua en los trópicos húmedos (Hofstede et al., 2003).



Figura 1. Páramo de Quimsacocha
Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

4.2. Importancia del páramo

El páramo es un ecosistema que retiene grandes cantidades de carbono debido a sus suelos profundos y con gran contenido de materia orgánica (Buytaert et al., 2006; Llambí et al., 2012; Recharte et al., 2003) al dar un uso y manejo adecuado, evitando las quemadas de la vegetación natural y la erosión de los suelos, se está previniendo la emisión de carbono en forma de CO₂ a la atmósfera y contribuyendo a mitigar el efecto invernadero (Mena & Hofstede, 2006). Se ha calculado, por ejemplo que los yaguales (*Polylepis*) pueden capturar hasta 2 toneladas de carbono por hectárea por año

(Hofstede & Mena, 2000). Pese al efecto de los suelos que se da en sus propiedades por el cambio de cobertura y uso del suelo que son reportados por Buytaert et al., (2002), Buytaert (2004), Gavilanes & Landi, (2012), Luteyn (1992), Podwojewski et al., (2007), Quichimbo et al., (2011) y Recharte et al., (2003), es importante la producción de alimentos andinos aunque se haga en pequeña escala. Debido a las importantes funciones del páramo, muchos investigadores han desarrollado y desarrollan investigaciones dando un importante valor científico y ecológico.

Los páramos en nuestro país cubren una superficie de 12.560 kilómetros cuadrados, que llega a ocupar el 6% del territorio nacional (Podwojewski & Poulenard, 2004) y que provee de agua a la población de la Sierra Ecuatoriana ya que es una fuente de agua debido a que sus suelos tienen una alta capacidad de regulación de los flujos de agua y permiten su aprovechamiento constante (Borja et al., 2008; Buytaert, 2004; Ortiz et al., 2005; Podwojewski & Poulenard, 2000).

4.3. Factores formadores de los suelos

Los factores formadores de los suelos en el páramo son la roca madre o material parental (MP), el clima (CI), los organismos vivos (O), topografía (R) y el tiempo (T), algunos de los factores son suministros de energía, mientras otros son receptores (Jenny, 1941; Porta et al., 2003). Todos los factores ejercen su acción en la formación de los suelos pero de más interés es el material parental y el relieve (IGAC, 2000; Pulido, 1988).

$$S = f (MP, CI, O, R, T)$$

Jenny (1994) estudió principalmente suelos no cultivados, formados a partir de materiales de origen glaciar relativamente uniformes, donde se determina que la roca madre o el material originario son realmente independientes, pero que los organismos vivos como la vegetación son claramente dependientes del clima y en menor medida del material parental. Todos ejercen su acción en la génesis y la evolución de los suelos, los estudios



indican que la contribución del material de origen y el relieve es fundamental (IGAC, 2000; Pulido, 1988).

4.3.1. Material parental como factor de formación del suelo en los páramos

El material parental ha desempeñado un papel importante en la génesis y la evolución de los suelos de páramo, a pesar de que se lo considera como un factor pasivo en el proceso edafogenético, la mayor parte de los suelos de páramos Colombianos y Ecuatorianos tienen influencia de cenizas volcánicas del Cuaternario (Barberi et al., 1988; Sauer, 1957; Winckell et al., 1991; Buytaert et al., 2005; Colmet et al., 1967 y Buytaert et al., 2004). Los suelos son generalmente negros, debido a la interacción de alófanos y materia orgánica; son ácidos y de fertilidad variada, aunque en algunos casos sean pobres en nutrientes, son ricos en materia orgánica y con una alta capacidad de retención de humedad (Bievre et al., 2006; Borja et al., 2008; Buytaert et al., 2006; Cortés, 1994; Hungerbühler et al., 2002; IGAC, 2000; Llambí et al., 2012; Podwojewski & Poulenard, 2004).

4.3.2. El clima como factor formador del suelo

El páramo es caracterizado por su clima frío y húmedo (Figura 2) que puede variar de 700 mm año⁻¹ hasta los 3000 mm año⁻¹ (Luteyn, 1992), esto se debe a su localización cercana a la línea equinoccial (Buytaert et al., 2006). Sin embargo, las lluvias son variables en el tiempo y espacio dependiendo de la ubicación, las lluvias son bajas en forma de lloviznas. El viento puede ser rápido y variable en la dirección dependiendo de la topografía, no es frecuente las heladas por debajo de los 4000 m s.n.m. y la temperatura media a 3500 m s.n.m. está alrededor de 7°C (Buytaert, 2004).

Las temperaturas bajas en los páramos influyen en los procesos de la formación de los suelos como la acumulación de la materia orgánica formando suelos orgánicos (Bievre et al., 2006; Llambí et al., 2012), bajo las condiciones de precipitación imperantes se presenta un volumen alto de agua efectiva para que se produzca la alteración química de los minerales

en un tiempo corto, pero a causa de las bajas temperaturas las reacciones químicas son lentas para establecer los equilibrios químicos en el suelo, sin embargo cuando hay cenizas volcánicas ocurre alteración considerable de los minerales más susceptibles a la alteración y hay formación de alófana (Podwojewski & Poulenard, 2000; Pulido, 1988).



Figura 2. Clima de Quimsacocha
Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

4.3.3. Los organismos vivos

Al hablar de la formación de los suelos es importante mencionar a los seres vivos: plantas, animales, microorganismos y el hombre. Debido a la acción biótica y abiótica sobre el material parental se da la formación de los suelos. Esta acción puede dar con mayor o menor intensidad de acuerdo a las condiciones abióticas, sin embargo uno de los organismo más importantes es la vegetación (Porta et al., 2003).

a. La vegetación

La interacción suelo-vegetación puede contemplarse desde otra perspectiva, la de considerar la vegetación como factor de la edafogénesis. Su papel directo en la formación de los suelos deriva de su intervención en la meteorización (papel colonizador de los líquenes o al fragmentar la roca por el crecimiento de las raíces) y por el aporte de materia orgánica al suelo, de la que carecía inicialmente el material originario (Jenny, 1941 y Porta et al., 2003). El papel indirecto de la vegetación deriva de su acción pantalla frente a la radiación solar y frente al agua de lluvia, lo que afecta al régimen de

humedad del suelo, la infiltración, la escorrentía y la erosión. Según sea el sistema radicular, este interceptara a distinta profundidad el agua influyendo sobre la circulación de fluidos en el suelo, lo que tiene efecto sobre la translocación y el lavado de sustancias en el suelo. La vegetación interviene en la formación, conservación y regeneración del suelo (Porta et al., 2003).

En el Ecuador aún no se conoce el número total de especies de plantas que viven en el páramo, y muchas de las plantas en el páramo han tenido que luchar con una serie de condiciones extremas (Mena & Medina, 2001). En el páramo más del 70% son plantas de la familia de las Poáceas (Figura 3) que forman el pajonal (Cisneros et al., 2010; Jantz & Behling, 2012; Llambí et al., 2012; Mena & Medina, 2001; Quichimbo et al., 2011) y los géneros más comunes son: *Stipa*, *Calamagrostis*, *Festuca* y *Cortaderia*, sus hojas largas y delgadas forman los penachos y protegen a las hojas jóvenes. La familia de las Asteráceas por lo general forman las rosetas como la *Hypochaeris sessiliflorae*, *Hypochaeris sonchoioides* (achicoria), *Wernevia nubigena* y *Valeriana rigida* (Valerianaceae). La familia de las Apiáceas (*Azorella pedunculata*), Plantagináceas (*Plantago rigida*), y Juncáceas (*Distichia muscoides*) forman las almohadillas o cojines (Mena & Medina, 2001).



Figura 3. Vegetación del páramo de Quimsacocha

Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

Los arbustos más comunes son de la familia Hypericáceas (*Hypericum laricifolium*), Valerianáceas (Valeriana), Scrophulariáceas (Calceolaria), Ericáceas (*Pernettya*, *Disterigma*, *Vaccinium* y *Gaultheria*), Rubiáceas (*Arcytophyllum*) y Rosáceas (*Acaena*) (Mena & Medina, 2001). Los árboles enanos pertenecen a la familia de las Rosáceas (*Polylepis* y *Hesperomeles*), Buddlejaceas (*Buddleja incana*), Araliáceas (*Oreopanax*) y

Mirtáceas (el arrayan). La familia de las Bromeliáceas (*Puya*) forma las rosetas gigantes debido a que forman las hojas grandes una corona y la planta puede tener una altura de 4 m. Finalmente existe una serie de plantas herbáceas que no tienen una adaptación clara que crecen entre el pajonal como son las Gencianas (*Halenia*, *Gentiana* y *Gentianella*), Fabáceas (*Lupinus*), Geraniáceas (*Geranium*), Ranunculáceas (*Ranunculus guzmanii*), Caryophylláceas (*Silene*, *Cerastium* y *Srellaria*), Scrophulariáceas (*Castilleja fissifolia*), Rubiáceas (*Arcytophyllum*, *Nertera* y *Galium*) y una serie de helechos como Pteridáceas (*Jamesonia*) y Blechnáceas (*Blechnum*) (Mena & Medina, 2001).

b. La edafofauna

Al tratar el tema de los organismos como factor formador de los suelos, no se puede dejar de mencionar la edafofauna en sus niveles micro, meso y macro, de la cual se conoce poco en el caso de los suelos de páramo. La acción de los microorganismos es importante en los procesos de mineralización y humificación, sin embargo esta acción es baja por las condiciones ecológicas adversas del páramo. En el caso de los organismos de tamaño más grande, los estudios de Chamorro (1989) señalan que la mayor población se registra en los horizontes orgánico; los taxa principales y típicos de los suelos de alta montaña son: Enchytreidae, Lumbricidae, Collembola, Coleóptera, Díptera y Arácnida. Las lombrices de tierra constituyen la mayor biomasa en estos suelos (Figura 4).



Figura 4. Organismos de los suelos de páramo
Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

4.3.4. Geoforma y topografía (Relieve)

La génesis, la evolución y la distribución espacial de los suelos tanto en el páramo como en otro ecosistema depende del relieve; es un elemento condicionante y determinante de la circulación de los vientos, las variaciones de calor, los niveles de condensación, la distribución de la lluvias, la circulación de energía y el flujo del agua. Este factor influye en el drenaje, profundidad efectiva y el grado de evolución de los suelos (Cárdenas et al., 1996). Para entender diversos rasgos y características de los suelos, es necesario estudiar la relación de la posición que ocupa el suelo en un paisaje y con los suelos próximos (Porta et al., 2003).

La Geoforma se refiere a cualquier componente o rasgo físico de la superficie terrestre que ha sido formado por procesos naturales y que tiene una forma o cuerpo diferente. Según la FAO (2009) la topografía se refiere a la configuración de la superficie de la tierra.

a. Geoforma principal

Las geoformas se describen principalmente por su morfología y no por su origen genético. Para relacionar suelos y paisaje no puede resultar suficiente diferenciar tres formas principales del relieve: los interfluvios que hace referencia a divisorias de aguas, la laderas que es un elemento inclinado con respecto a la horizontal, que alcanza una divisoria de aguas con un fondo, y los fondos corresponden a superficies de depósito, en las que confluyen las aguas de escorrentía (Porta et al., 2003).

b. Posición fisiográfica

Según la FAO (2009), la posición afecta las condiciones hidrológicas del sitio (Propiedades hidrofísicas), que puede ser interpretado como suelos: receptor predominante de agua, transportador de agua o ninguno de ellos y está relacionada con las propiedades de los suelos como: profundidad total, espesor de los horizontes, contenido de materia orgánica, textura,



estructura, humedad relativa del perfil, grado de diferenciación de los horizontes y el tipo de material inicial.

Según Porta et al., (2003), se diferencian tres posiciones fisiográficas principales:

- Los interfluvios o cumbres hace referencia a divisorias de aguas, son sitios donde se dan procesos de erosión debido a los factores climáticos, se encuentran suelos pobres presentando un bajo desarrollo del perfil.
- Laderas son elementos inclinados que enlazan los interfluvios con los fondos. Los procesos en las laderas son algo cambiantes a lo largo del tiempo y estas variaciones afectan a los suelos que se desarrollan en ellas. Los procesos de transporte pueden estar ligados al impacto de la lluvia, al agua de escorrentía superficial, a los movimientos en masa, la acción del viento y la cobertura vegetal.
- Fondos son superficies donde se dan procesos de acumulación de agua y material orgánico como mineral, dando como resultado suelos profundos con altos contenidos de materia orgánica y humedad.

4.3.5. El tiempo

Los suelos a lo largo del día tienen variaciones de temperatura, contenido de anhídrido carbónico, actividad biológica, etc.; a lo largo del año tiene variaciones de salinidad, humedad, temperatura, pérdidas de materiales por erosión, contenido de nutrientes, etc.; como también existen cambios que se expresan lentamente a lo largo de muchos años como es la meteorización, diferenciación de horizontes, translocación de componentes, etc. (Porta et al., 2003).

El tiempo es un factor formador del suelo afectando a las variaciones a lo largo de los años. La edad de los suelos de páramo expresa el tiempo durante el cual han actuado los procesos formadores (Porta et al., 2003), por ejemplo los Andosoles del norte del Ecuador son más jóvenes que los suelos

del sur debido a la constante actividad volcánica (Borja, 2008; Podwojewski & Poulenard, 2000). Según Jaramillo (2002), para definir la edad del suelo se debe tener claro que hay otras edades que se relacionan con ella como es la edad de las rocas, edad del material parental y edad del relieve.

4.4. Los suelos de páramo

Las zonas montañosas de los Andes Ecuatorianos aportan la mayor parte del agua debido a sus tipos de suelos ya que son caracterizados por cumplir un rol importante dentro de la regulación y almacenamiento del agua (Borja, et al., 2008; Buytaert, 2004; Llambí et al., 2012; Podwojewski & Poulenard, 2004,).

Los suelos típicos de páramo con gran predominancia son los Andosoles (mayor al 60%), sin embargo existe el desarrollo de suelos orgánicos conocidos como los Histosoles. Estos suelos son de vital importancia en la regulación hídrica en el páramo. La densidad aparente de los suelos de páramo es inferior a 0.90 g cm^{-3} (Podwojewski & Poulenard, 2000), debido a la alta humedad y al clima frío de este ecosistema, la descomposición de la materia orgánica es lenta, lo que hace que se acumule una capa considerable de suelo orgánico (Llambí et al., 2012) normalmente supera el 40% (Buytaert et al., 2006), por la baja densidad aparente y su estructura, los suelos tienen una alta capacidad de retención de humedad que varía entre el 80% al 90% en punto de saturación (Buytaert, 2004). Los suelos del páramo Ecuatoriano han sido desarrollados a partir de depósitos volcánicos (FAO/ISRIC/ISSS, 1998; Hungerbühler et al., 2002; Podwojewski & Poulenard, 2000), aunque hacia el sur del país existen suelos de origen no volcánico a altitudes sobre los 3000 m s.n.m. (Borja et al., 2008; Podwojewski & Poulenard, 2000).

4.4.1. Andosoles

Los Andosoles se desarrollan en eyecciones o vidrios volcánicos bajo casi cualquier clima (excepto bajo condiciones climáticas hiperáridas). Sin embargo, los Andosoles también pueden desarrollarse en otros materiales

ricos en silicatos bajo meteorización ácida, en climas húmedos y perhúmedos (FAO/ISRIC/ISSS, 1998; Nanzzyo, 2002 y Shoji et al., 1993). Los Andosoles están caracterizados principalmente por el estado de meteorización y las condiciones climáticas existiendo diferencias claras dentro de este grupo (Borja, 2008).

a. Descripción de los Andosoles

Los Andosoles son suelos de color negro, de paisajes volcánicos; del japonés *an*, negro, y *do*, suelo. El material parental de estos suelos es vidrios y eyecciones volcánicas (principalmente ceniza, pero también tufá, pómez y otros) u otro material rico en silicato. Estos suelos se encuentran en ambientes ondulados o montañosos húmedos, y regiones árticas o tropicales con un amplio rango de tipo de vegetación (FAO/ISRIC/ISSS, 1998). Los Andosoles en páramo se encuentran cubierto por una cobertura vegetal de tipo pajonal (Mena & Medina, 2001).

b. Desarrollo del perfil

Los Andosoles se caracterizan por la presencia de un horizonte Ándico o un horizonte Vítico. El horizonte Ándico es rico en alofanos o complejos de humus-aluminio. La meteorización rápida de vidrios o eyecciones volcánicas da como resultado la acumulación de complejos órgano-minerales estables o minerales de bajo grado de ordenamiento como alofano, imogolita y ferrihidrita. La meteorización ácida de otro material rico en silicato en climas húmedos y perhúmedos también lleva a la formación de complejos órgano-minerales estables (FAO/ISRIC/ISSS, 1998).

c. Características del horizonte Ándico

- **Características morfológicas.-** Es un horizonte de color negro (Figura 5); el contenido de materia orgánica es alto normalmente es superior al 40% (Buytaert, 2004), es poroso, friable y de textura

migajosa o granular. Este puede llegar a ser casi líquido cuando se fricciona debido a la transformaciones sol – gel bajo una presión (tixotropía) y es untoso al tacto (FAO/ISRIC/ISSS, 1998).



Figura 5. Perfil de un Andosol
Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

- **Características hidrológicas.-** El horizonte Ándico tienen una gran capacidad de retención de agua (Borja & Garrido, 2003) con una humedad promedio del 82% en punto de saturación e incluso se registran contenidos alrededor del 90% y en el punto de marchitez los contenidos de humedad son altos con un promedio del 43% (Buytaert, 2004) esto se debe a la microporosidad y la cantidad de materia orgánica (Llambí et al., 2012). La conductividad hidráulica saturada promedio es de 0.94 cm h^{-1} (Cisneros et al., 2010; Llambí et al., 2012).
- **Características mineralógicas.-** La composición mineral de la fracción de arcilla del horizonte Ándico depende de algunos factores como: edad genética del horizonte, composición del material parental, pH, saturación de bases, régimen de humedad, tamaño de los depósitos de cenizas volcánicas, contenido y composición de la materia orgánica. La fracción de arcilla contiene típicamente materiales amorfos como es la alófana, la imogolita y complejos de humus rico en aluminio y hierro junto con sílice opalino. La alófana,

imogolita y complejos de Al-humus pueden ocurrir juntos pero los dos grupos tienen condiciones conflictivas de formación (FAO/ISRIC/ISSS, 1998).

- **Características físicas.-** El horizonte Ándico tiene varios centímetros de espesor (30 cm) (Llambí et al., 2012), presenta una buena estabilidad estructural y su alta permeabilidad hace que sea resistente a la erosión que es producida por el agua. La densidad aparente varía entre 0.90 a 0.30 g cm⁻³ (FAO/ISRIC/ISSS, 1998; Podwojewski & Poulenard, 2004). Por su baja densidad y altos contenidos de materia orgánica tiene una alta microporosidad (Buytaert et al., 2006; Nanzoy, 2002 y Shoji et al., 1993).

d. Procesos formadores del horizonte Ándico

- **Andolización.-** Este proceso formador es el responsable de la formación del horizonte Ándico, se presenta una alteración media intensa de los materiales parentales cuyos productos forman nuevos materiales inorgánicos no cristalinos; por otro parte, presenta una humificación importante de los residuos orgánicos que se adicionan al horizonte, también existe lixiviación de bases. Los compuestos húmicos, que se forman en el horizonte se unen con aluminio y/o hierro y se puede estabilizar con parte de los compuestos inorgánicos no cristalinos (Jaramillo, 2002; Llambí et al., 2012; Shoji et al., 1993).
- **Melanización.-** A medida que aumenta la evolución del horizonte se puede dar una acumulación de materia orgánica debido a la ausencia de organismos descomponedores por efecto del pH bajo y altos contenidos de hierro y aluminio (Jaramillo, 2002).

4.4.2. Histosoles

Los Histosoles comprenden suelos formados por la acumulación de materia orgánica debido a las condiciones de humedad. Varían desde suelos

desarrollados predominantemente en musgo de turba en regiones boreal, ártica y subártica, vía turba de musgos, turba de cañas/ciperáceas (pantanos) y turba de bosque (FAO/ISRIC/ISSS, 1998). Debido a los altos contenidos de materia orgánica tienen una extraordinaria capacidad para retener agua y una baja densidad aparente (Borja et al., 2008; Llambí et al., 2012; Roig & Roig, 2004).

c. Descripción de Histosoles

Son suelos de turba y pantanos; del griego *histos*, tejido. Su material parental es resto vegetal incompletamente descompuesto, con o sin mezcla de arena, limo o arcilla. Los Histosoles se encuentran frecuentemente en zonas en las que el suelo está a bajas temperaturas, con condiciones de elevada humedad y bajo pH que favorecen el proceso de paludización (Borja et al., 2008; Cisneros et al., 2010; Llambí et al., 2012).

d. Desarrollo del perfil

Debido a las bajas temperaturas, saturación y acidez se da una mineralización lenta de la materia orgánica que aportan los seres vivos; favoreciendo la acumulación de la misma y teniendo propiedades físicas y químicas que se diferencian mucho de los suelos minerales (Cisneros et al., 2010).

e. Génesis de los Histosoles

Los Histosoles son diferentes al resto de los suelos debido a que su material parental proviene de los organismos vivos principalmente del Reino Vegetal. Estos contienen más del 20% de materia orgánica en relación a su peso (FAO/ISRIC/ISSS, 1998), sin embargo en suelos de páramo se puede encontrar hasta un 90% (Llambí et al., 2012). Según Cisneros et al., (2010), la acumulación de materia orgánica del suelo se debe a: bajas temperaturas, una constante saturación de agua en el cuerpo del suelo, extremada acidez

o escasez de nutrientes elementales (oligotróficos), altos niveles de electrólitos o toxinas orgánicas, sin embargo en la mayoría de la turba de pantano se encuentran en posiciones fisiográficas bajas, en estas zonas los desechos de plantas acuáticas se acumulan gradualmente.

f. Características de los Histosoles

El volumen total de los poros de los Histosoles es extraordinariamente grande, mayor que el 85%, puede contener grandes volúmenes de agua, poseen grandes contenidos de materia orgánica a más de 40 cm de profundidad (Borja et al., 2008; Cajamarca & Tenorio, 2009; Cisneros et al., 2010; Llambí et al., 2012; Siguenza & Tenecora, 2008).



Figura 6. Perfil de un Histosol
Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

- **Características morfológicas.-** La mayoría de los Histosoles tienen perfil H o HCr. Transformación de los restos de las plantas a través de la desintegración bioquímica y formación de sustancias húmicas creadas en la capa superficial. El material orgánico translocado puede acumularse en las partes profundas del suelo pero frecuentemente se percola (FAO/ISRIC/ISSS, 1998).
- **Características hidrológicas.-** La capacidad de retención de humedad en punto de saturación (pF 0) es del 86.2% siendo este un

valor alto. La conductividad hidráulica saturada es de 0.39 cm h^{-1} lo que indica que la velocidad de movimiento de agua a través del suelo es lenta dando como resultado un almacenamiento de grandes volúmenes de agua (Borja, et al., 2008; Cajamarca & Tenorio, 2009; Cisneros et al., 2010).

- **Características físicas.-** Se caracterizan por tener una densidad aparente baja, menor a 0.40 g cm^{-3} e incluso muchos autores citan valores extremadamente bajos de 0.04 g cm^{-3} (Farnham & Finney, 1965; Llambí et al., 2012). Los horizontes subsuperficiales tienen una densidad aparente mucho mayor de 0.15 a 0.25 g cm^{-3} debido a la acumulación de turba y el proceso de descomposición de la misma llegando a tener una densidad de 0.40 g cm^{-3} . (FAO/ISRIC/ISSS, 1998).
- **Característica químicas.-** Una de las características químicas importantes es el contenido de materia orgánica que puede contener lignina, celulosa, hemicelulosa y pequeñas cantidades de proteínas, ceras, taninos, resinas, suberina, etc. La materia orgánica está relacionada con las propiedades hidrofísicas, físicas e inclusive químicas (Borja et al., 2008; Buytaert et al., 2006; FAO/ISRIC/ISSS, 1998; Llambí et al., 2012). EL pH de los Histosoles están entre 3 a 5.5 con altos contenidos de hierro dando como resultado una baja disponibilidad de nutrientes para el desarrollo de plantas y microorganismos descomponedores (Borja et al., 2008; FAO/ISRIC/ISSS, 1998).

g. Procesos formadores de los Histosoles

- **Paludización.-** La descomposición de materia orgánica en el páramo es baja, causada por las bajas temperaturas y la alta humedad. Por esto, en situaciones con poca intervención humana siempre se encuentra un suelo humífero (Jaramillo, 2002).

- **Gleyzación y Pseudogleyización.-** La formación de ambos procesos está condicionada a la existencia de capas de agua que de manera más o menos permanente saturan el suelo provocando una extensa hidromorfía. El agua al desplazarse lentamente por el suelo, va disminuyendo el contenido de oxígeno a la vez que se ira acidificando por efecto de la materia orgánica dando un ambiente reductor al suelo, fundamentalmente en relación a los compuestos de hierro y de manganeso, ya que sus comportamientos edafquímicos van a ser diferente dependiendo del potencial redox existente (Porta et al., 2003). El hierro es el elemento químico que mejor refleja las condiciones de hidromorfía de los suelos. En condiciones reductoras, se moviliza el Fe^{++} , que es móvil, sufriendo una redistribución por el perfil (pues las malas condiciones de drenaje impiden su total eliminación), acumulándose contenidos de hierro dando al suelo su color gris-verdoso-azulado característico (Figura 7) (Dorronsoro, 2010).



Figura 7. Gleyzación en los horizontes minerales de los Histosoles

Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El área de estudio está ubicada en el páramo húmedo de la zona de Quimsacocha, en la Microcuenca del Río Zhurucay, que tiene una superficie aproximada de 13.92 Km², ubicándose a 85 km al Sur Oeste de la ciudad de Cuenca, y que corresponde a las áreas de los cantones Cuenca, Girón y San Fernando; en la provincia del Azuay (Figura 8). El rango altitudinal se encuentra comprendido entre los 3400 m s.n.m. y 3900 m s.n.m., con las siguientes coordenadas UTM: X 694 644 m - 698 164 m. Y 9662 482 m - 9660 680 m.

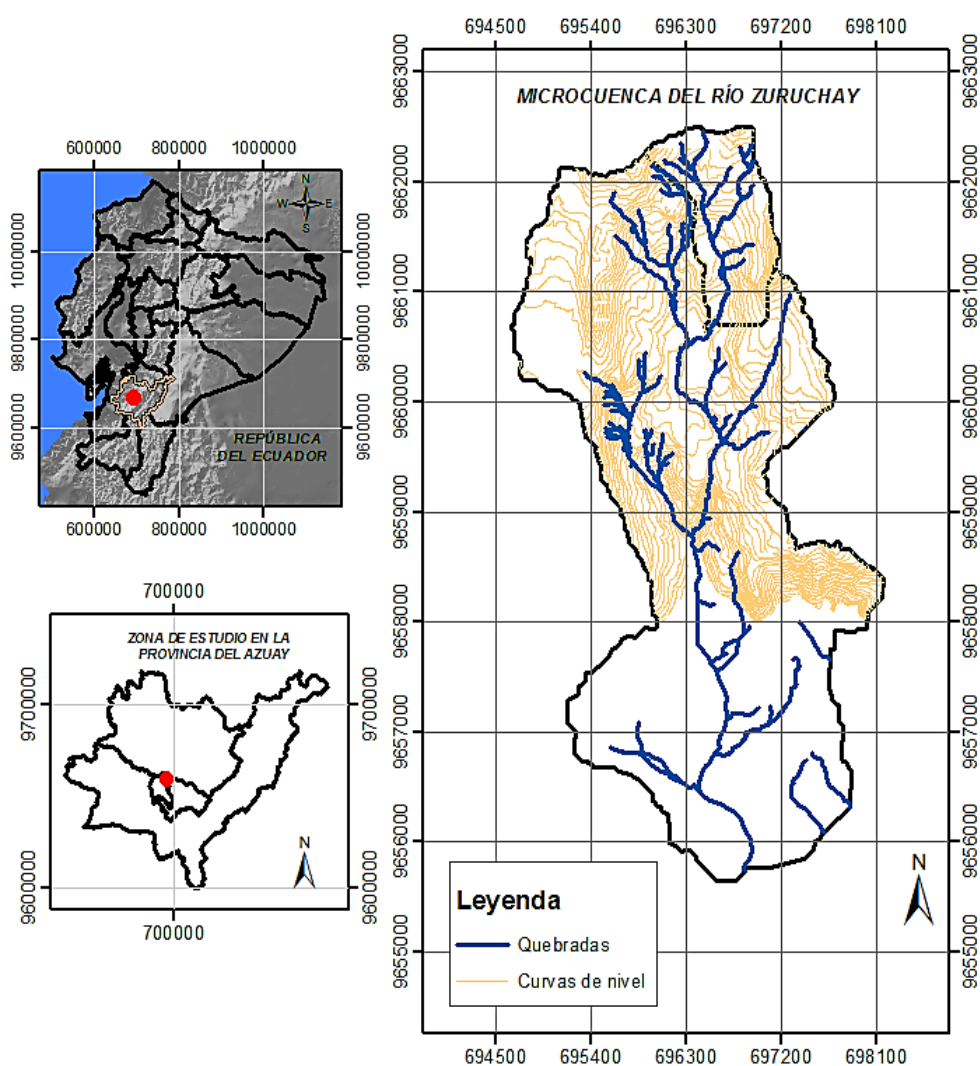


Figura 8. Ubicación del área de estudio
Fuente: IAMGOLD (2009) y IGM (2008)
Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014

5.1.1. Geología

Las rocas superficiales en la región de Quimsacocha tiene origen volcánico, por la actividad del volcán Quimsacocha durante la época geológica, donde se depositaron varios contenidos litológicos, tales como fluidos de rocas volcánica compuesta de cenizas y polvo volcánico endurecido, rocas volcánicas de grano fino, material piroclástico y rocas granuladas compuesta de fragmentos de cuarzo y feldespato (Hungerbühler et al., 2002).

5.1.2. Suelos

Los suelos más importantes dentro del área de estudio son los Andosoles que generalmente tienen altos contenidos de ceniza volcánica, y los Histosoles por tener altos contenidos de materia orgánica, estos suelos tiene epipedones de color oscuro, con densidad aparente menor a 0.4 g cm^{-3} y con una capacidad de retención de agua alta (Borja et al., 2008; Cisneros et al., 2010; Quichimbo et al., 2011).

5.1.3. Clima

En la zona de estudio la temperatura promedio diaria es de 6°C , la humedad relativa promedio diaria es del 90% (Iñiguez, Borja, Crespo, & Cisneros, 2008 y Padrón, 2013). La radiación solar es elevada debido a su altitud y latitud, alcanzando valores de 1.4 kW m^{-2} . La velocidad del viento presenta un comportamiento estacional con un promedio de 4.4 m s^{-1} en los meses de mayo a septiembre, para el resto del año tiene una velocidad de 2.7 m s^{-1} . La precipitación promedio anual varía entre 700 y 4000 mm (Padrón, 2013).

5.1.4. Cobertura del suelo

La cobertura predominante del suelo en el área de estudio es de tipo pajonal (*Calamagrostis intermedia*) y almohadillas (*Azorella pedunculata*) (Cajamarca & Tenorio, 2009). También se encuentran bosques de riberas en los que la especie dominante corresponde a algunas especies de *Polylepis* (*Polylepis incana* Kunth y *Polylepis reticulata* Kunth) (Jantz & Behling, 2012). El uso predominante actualmente del páramo es el pastoreo de animales: llamas, bovino y caballos (Jantz & Behling, 2012).

5.2. Metodología y Materiales

Los materiales utilizados se describen en los anexos 3 – 8.

5.2.1. Identificación de los tipos de posición fisiográfica en el área de estudio

En la parte alta de la microcuenca del río Zhurucay se trazaron tres transectos transversales y a través del muestreo dirigido se ubicó 45 sitios de estudio donde se identificó la posición fisiográfica en cada sitio, la distancia de sitio a sitio fue entre 140 – 180 m (Figura 9). Para la identificación de los diferentes tipos de posiciones fisiográficas se basó según la guía de la FAO (2009) y Porta et al., (2003) considerando las siguientes posiciones fisiográficas: fondo de valle, punta de ladera, ladera baja, ladera media, ladera alta y cumbre.

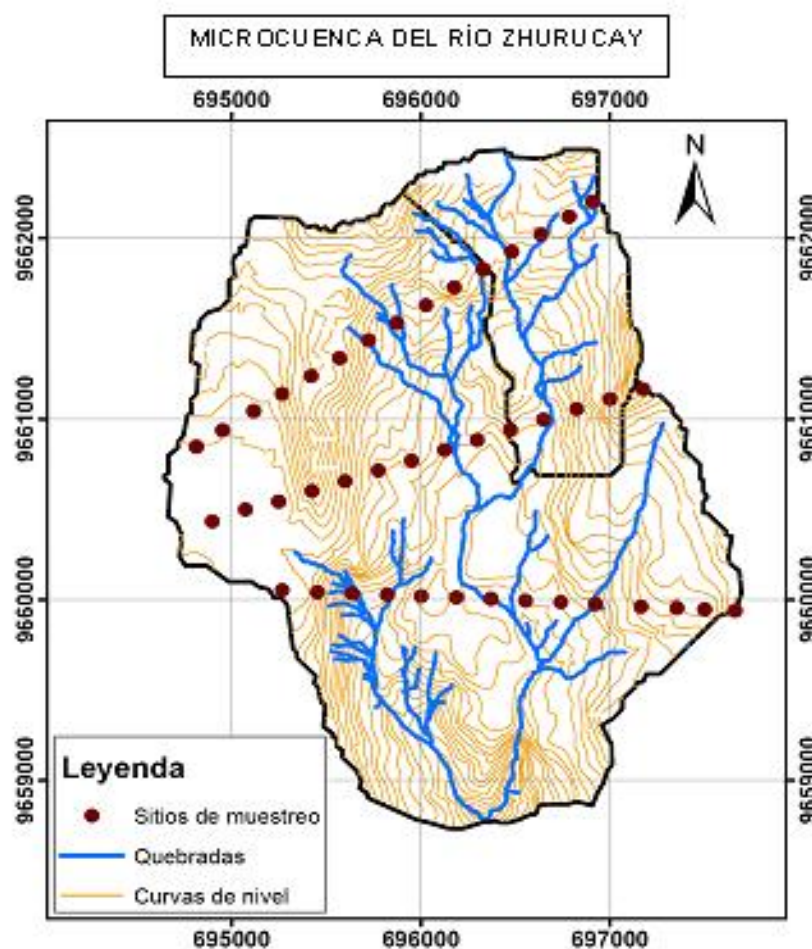


Figura 9. Sitios de muestreo en la zona de estudio

Fuente: IAMGOLD (2009)

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014

A más de la identificación de la posición fisiográfica en cada sitio de estudio, se realizó una descripción general donde se registró: el número del sitio, número del transecto, localización, vegetación, puntos GPS, altitud en m s.n.m., pendiente en 10 m, evidencia de erosión y uso actual del suelo (Figura 10 y Anexo 3).



Figura 10. Descripción del sitio
Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

5.2.2. Caracterización de las propiedades hidrofísicas

En cada sitio de estudio se realizó calicatas y barrenaciones para la descripción del perfil donde se registró la profundidad del suelo, el número de horizontes, el tipo y el espesor de cada horizonte (Figura 11 y Anexo 3). También por cada horizonte se registró la presencia de fragmentos rocosos, presencia de raíces, tipo de textura, estructura y color, para esta descripción se utilizó la guía de suelos de la FAO (2009).



Figura 11. Descripción de perfil
Fuente: Aucapiña y Marín, 2014



En cada horizonte descrito, se tomaron dos muestras inalteradas en anillos Kopecky de 100 cm³ y dos kilogramos de muestra alterada, estas fueron codificadas de acuerdo a la descripción del horizonte y sitio (Anexo 4). Las muestras fueron llevadas al laboratorio de hidrofísica de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca.

Las muestras inalteradas se saturaron por 3 semanas y al terminó de la saturación se determinó el contenido de humedad en pF 0 (punto de saturación) (Anexo 6), para determinar el contenido de humedad en pF 0.5 y pF 1.5 las muestras fueron trasladadas a la caja de succión de arena (Topp & Zebchuk, 1979) donde se aplicó la succión correspondiente por una semana (Anexo 6). En pF 2.3 se empleó ollas extractoras de presión (USDA, 1996) utilizando las mismas muestras inalteradas y durante el mismo tiempo. En el contenido de humedad en pF 3.4 y pF 4.2, se realizó una pasta saturada con muestra alterada estandarizada y mediante las ollas extractoras de presión alta se determinó el contenido de humedad (USDA & NRCS, 2004), por cada muestra se realizó tres repeticiones. Para la elaboración de la pasta saturada se utilizó alrededor de 500 g de muestra alterada (Anexo 6). Las muestras de los horizontes minerales fueron secadas al aire y pasadas por un tamiz de 2 mm para la obtención de una muestra estandarizada. En los horizontes orgánicos se eliminaron las raíces de las plantas y materiales gruesos. Luego de determinar el peso húmedo de las muestras en cada pF, se determinó el peso seco de las muestras luego que estas fueron secadas a una temperatura de 105°C durante 24 horas y mediante estos pesos se determinó la humedad gravimétrica de cada muestra. La humedad gravimétrica fue multiplicada por su densidad aparente para obtener la humedad volumétrica (cm³ cm⁻³) (Anexo 6).

Para la determinación de la densidad aparente (g cm⁻³), las muestras inalteradas fueron secadas a una temperatura de 105°C por un período de 24 horas (Figura 12), posteriormente se pesó la muestra con el anillo y se determinó el peso de la muestra restando el peso del anillo. Finalmente se determinó la densidad aparente dividiendo el peso seco de la muestra para

él volumen del anillo (Anexo 7). Se realizó dos repeticiones por cada horizonte caracterizado (FAO, 2009).



Figura 12. Muestras inalteradas secadas a 105°C
Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

El color de las muestras alteradas se determinó en húmedo con la tabla de Munsell (FAO, 2009).

La conductividad hidráulica saturada que es el movimiento del agua del suelo en saturación, se determinó en campo a través de las pruebas de pozo y pozo invertido (Gabriels et al., 2011; Oosterbann & Nijland, 1994), por cada horizonte muestreado, se realizó tres repeticiones (Figura 13 y Anexo 5).



Figura 13. Determinación de conductividad hidráulica saturada (Pozo invertido)
Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

5.2.3. Determinación de la materia orgánica

Debido a la importante relación de la materia orgánica con las propiedades hidrofísicas de los suelos de páramo (Cisneros et al., 2010; Gavilanes & Landi, 2012; Mena & Medina, 2001; Quichimbo et al., 2011; Bievre et al., 2006; Borja & Garrido, 2003; Borja et al., 2008; Llambí et al., 2012) fue necesario determinar el contenido de materia orgánica de cada horizonte caracterizado. Para la determinación se utilizó el método de ignición que consiste en la pérdida de peso de las muestras secas después de la ignición a 430°C por un periodo de 4 horas (La Manna et al., 2007; Schumacher, 2002) (Figura 14 y Anexo 8), realizando dos repeticiones por cada horizonte muestreado.



Figura 14. Ignición de las muestras
Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

5.2.4. Determinación de la variabilidad de las propiedades hidrofísicas de los suelos según la posición fisiográfica

En el análisis estadístico se empleó el programa R 2.15 (R Development Core, 2005) donde se utilizó estadística no paramétrica ya que el número de observaciones fue menor a 11. Se realizó gráficos de cajas para cada variable según la posición fisiográfica. Mediante la prueba no paramétricas de Kruskal – Wallis se comparó la profundidad de los suelos y las propiedades hidrofísicas de los horizontes superficiales de las seis

posiciones fisiográficas identificadas, además mediante la prueba de U de Mann – Whitney se realizó comparación entre dos posiciones y de esta manera se determinó en que posiciones fisiográficas, la profundidad de los suelos y las propiedades hidrofísicas de los horizontes superficiales difieren significativamente. Para el análisis estadístico se consideró un nivel de significancia al 5% (Tabla 1). Para la comparación de los horizontes se consideró como mínimo que tengan cuatro observaciones en cada posición fisiográfica por lo que los horizontes subsuperficiales no cumplieron con lo establecido.

Tabla 1. Niveles de significancia

Nivel de Significancia		
> 0.05	No significativo	Ns
0.05 – 0.01	Significativo	*
0.01 – 0.001	Muy significativo	**
<0.001	Altamente significativo	***

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

Las propiedades hidrofísicas de los horizontes superficiales que se compararon fueron: el espesor del horizonte, conductividad hidráulica saturada, densidad aparente y contenido de humedad en pF 0, pF 0.5, pF 1.5, pF 2.3, pF 3.4 y pF 4.2. Además, mediante los contenidos de humedad se determinó y se comparó el contenido de agua gravitacional (pF 0 – pF 2.3) y agua disponible (pF 2.3 – pF 4.2) de las seis posiciones fisiográficas. Debido a la importante función de la materia orgánica con las propiedades hidrofísicas fue necesario identificar el efecto de la posición fisiográfica en dicha propiedad química como también su relación con las propiedades hidrofísicas. Para identificar las relaciones entre las propiedades de los horizontes superficiales se empleó pruebas de correlación de Spearman.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Identificación de los tipos de posición fisiográfica

En la Tabla 2 se observa los tipos de posición fisiográfica identificados en el área de estudio, además se aprecia el número de perfiles descritos, el total de horizontes estudiados y el rango de pendiente de cada posición fisiográfica.

Tabla 2. Identificación de los tipos de posiciones fisiográficas

Código	Tipo de posición fisiográfica	Tipos de suelos	Perfiles	# de horizontes	% Pendiente Rangos	Interpretación de la FAO
A	Fondo de valle	Histosol	11	27	1 – 5	Llano o casi llano
B	Punta de ladera	Andosol - Histosol	5	10	3 – 15	Suavemente inclinado
C	Ladera baja	Andosol	4	5	2 – 32	Moderadamente escarpado
D	Ladera media	Andosol	10	10	1 – 40	Moderadamente escarpado
E	Ladera alta	Andosol	9	9	3 – 56	Inclinado
F	Cumbre	Andosol	6	7	1 – 8	Suavemente inclinado

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

En la Figura 15 se observa que la posición de fondo de valle se encuentra en zonas planas con una pendiente entre 1 al 5% (Tabla 2). En ésta sobresalen suelos orgánicos debido a la acumulación de materia orgánica por sus condiciones de humedad, temperaturas bajas y tipo de cobertura vegetal. Los suelos presentan un mayor desarrollo de horizontes y están integrados por tres horizontes (H – Ah – C). En cuanto a la posición de punta de ladera está ubicada entre ladera baja y fondo de valle con una pendiente entre 3 al 15% (Tabla 2). En ésta se da procesos de acumulación de material mineral y orgánico que es transportado por acción de la lluvia y la gravedad (Porta et al., 2003) aunque es también dependiente del tipo de cobertura a lo largo de la ladera. Los suelos que se desarrollan en esta posición son Andosoles e Histosoles que están integrados por dos horizontes (Ah – C o H – Ah) (Figura 15). A lo largo de la ladera se identificó tres tipos de posiciones

fisiográficas que son: ladera baja, ladera media y ladera alta con una pendiente entre 2 al 32%, 1 al 40% y 3 al 56% respectivamente. En estas tres posiciones, los suelos que sobresalen son Andosoles integrados por uno (Ah) o dos horizontes (Ah – C) como se aprecia en la Figura 15. Finalmente la posición de cumbre se encuentra en la línea divisora de agua con una pendiente entre 1 al 8%, los suelos que sobresalen son Andosoles y están conformados por un solo horizonte (Ah). Existe poca información sobre descripciones detalladas de las posiciones fisiográficas en páramo.

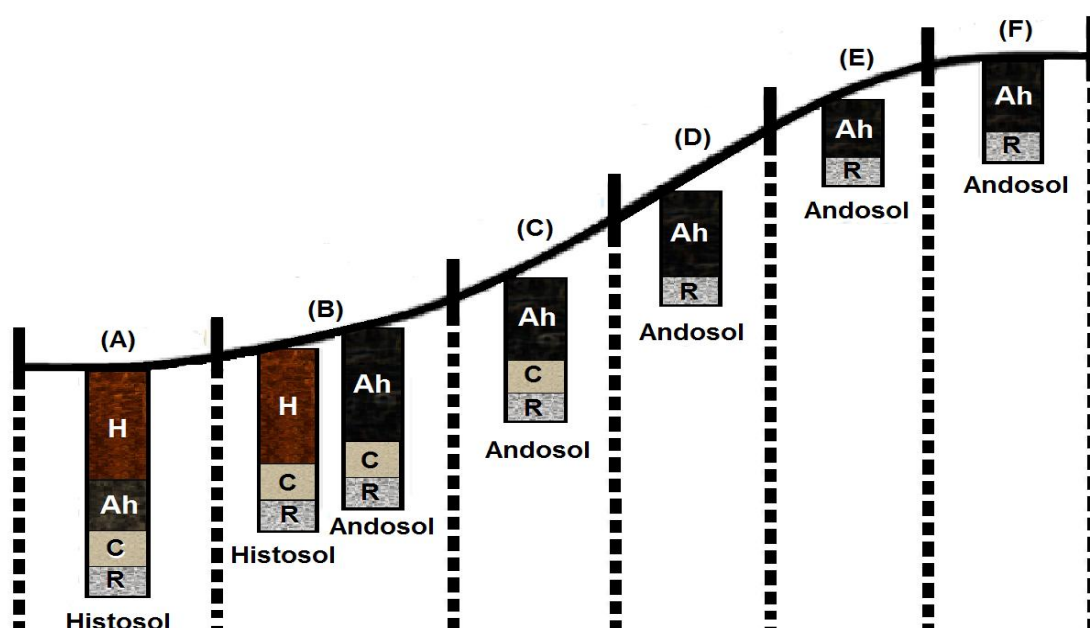


Figura 15. Tipos de posiciones fisiográficas en una ladera
Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014

Debido a las importantes funciones de la cobertura vegetal en los suelo de páramo (Jenny, 1941), en cada posición fisiográfica se identificó una cobertura predominante de tipo pajonal (*Calamagrostis intermedia*) a lo largo de ladera y cumbre, mientras que en fondo de valle y punta de ladera se identificó una cobertura predominante de musgo (*Bryophyta* sp.) y almohadilla (*Xenophyllum humile*), lo cual es consistente con descripciones realizadas por Borja et al., (2008), Cisneros et al., (2010) y Quichimbo et al., (2011).

6.2. Características de las propiedades de los suelos

6.2.1. Características de las propiedades de los suelos en fondo de valle

Los Histosoles en fondo de valle tienen una profundidad que varía entre 94 a 200 cm (Anexo 1), presentando un gran desarrollo de perfil encontrando tres horizontes (H – Ah – C).

El horizonte superficial (H) es de origen orgánico, tiene un espesor entre 24 a 44 cm, de color negro parduzco (7.5 YR 2/2) con una alta cantidad de materia orgánica de 84.77% (mediana) y una densidad aparente baja con un rango de 0.07 a 0.22 g cm⁻³. La conductividad hidráulica saturada varía entre 0.54 a 2.84 cm h⁻¹ (Tabla 3). En la Figura 16 y en la Tabla 3 se aprecia los contenidos de humedad del horizonte superficial donde se ve una alta capacidad de retención en pF 0 entre 0.80 a 0.93 cm³ cm⁻³, sin embargo esta capacidad disminuye en presiones altas llegando a tener una humedad entre 0.13 a 0.26 cm³ cm⁻³ en pF 4.2 (punto de marchitez).

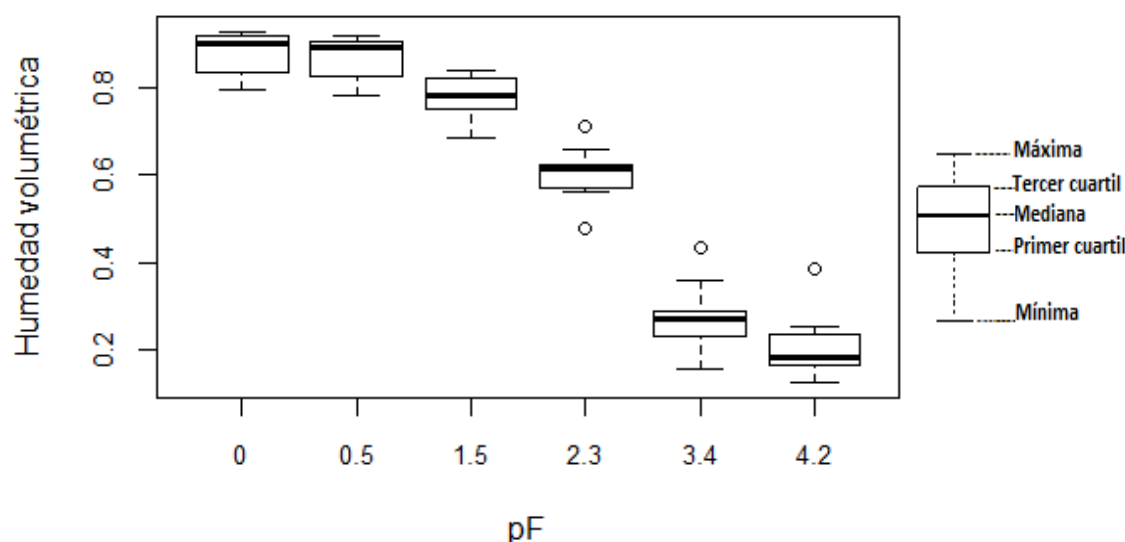


Figura 16. Diagrama de los contenidos de humedad del horizonte superficial de los suelos de fondo de valle

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014

Tabla 3. Mediana y mínima – máxima de las propiedades de los Histosoles en fondo de valle

Tipo de horizonte		Superficial	Subsuperficial	
Variables	Unidad	H	Ah	C
Esp	cm	41.50 24 – 44	35 29.50 – 40	31 22 – 40
Ksat	cm h ⁻¹	1.28 0.54 – 2.84	0.41 0.03 – 1.20	0.22 0.14 – 0.30
DA	g cm ⁻³	0.11 0.07 – 0.22	0.35 0.19 – 0.44	0.89 0.86 – 0.92
pF 0	cm ³ cm ⁻³	0.90 0.80 – 0.93	0.79 0.77 – 0.88	0.65 0.64 – 0.66
pF 0.5	cm ³ cm ⁻³	0.89 0.78 – 0.92	0.79 0.76 – 0.88	0.64 0.63 – 0.66
pF 1.5	cm ³ cm ⁻³	0.78 0.69 – 0.84	0.75 0.72 – 0.87	0.63 0.63 – 0.64
pF 2.3	cm ³ cm ⁻³	0.62 0.56 – 0.66	0.68 0.58 – 0.74	0.58 0.57 – 0.59
pF 3.4	cm ³ cm ⁻³	0.27 0.16 – 0.36	0.34 0.29 – 0.62	0.33 0.32 – 0.33
pF 4.2	cm ³ cm ⁻³	0.17 0.13 – 0.26	0.31 0.19 – 0.60	0.21 0.15 – 0.26
MO	%	84.77 76.21 – 89.09	46.85 25.75 – 71.35	6.52 3.63 – 9.41

Esp: Espesor, **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada, **DA:** Densidad aparente, **pF 0:** Contenido de humedad en pF 0, **pF 0.5:** Contenido de humedad en pF 0.5, **pF 2.3:** Contenido de humedad en pF 2.3, **pF 3.4:** Contenido de humedad en pF 3.4, **pF 4.2:** Contenido de humedad en pF 4.2, **MO:** Contenido de materia orgánica.

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

El horizonte subsuperficial Ah tiene un espesor entre 29.50 a 40 cm presentando un color negro (10YR 1.7/1) con un contenido de materia orgánica de 46.85% (mediana) y una densidad aparente baja que oscila entre 0.19 a 0.44 g cm⁻³. La conductividad hidráulica saturada varía desde 0.03 a 1.20 cm h⁻¹. Los contenidos de humedad en pF 0 son altos con un contenido de 0.79 cm³ cm⁻³ (mediana) y disminuye en pF 4.2 a 0.31 cm³ cm⁻³ (mediana) (Tabla 3).

El horizonte C está formado por restos de rocas y es considerado como material parental no consolidado (Llambí et al., 2012). Generalmente este tiene color grisáceo (5Y 5/3) con un espesor entre 22 a 40 cm. El contenido de materia orgánica es bajo (mediana= 6.52%), su densidad aparente es de 0.89 g cm⁻³ (mediana) y la conductividad hidráulica saturada oscila entre



0.14 a 0.30 cm h⁻¹ (Tabla 3). Sus contenidos de humedad en pF 0 son bajos (mediana= 0.65 cm³ cm⁻³) disminuyendo a 0.21 cm³ cm⁻³ (mediana) en pF 4.2.

6.2.2. Características de las propiedades de los suelos en punta de ladera

Los suelos que sobresalen en punta de ladera son Andosoles e Histosoles. La profundidad varía entre 43 a 175 cm (Anexo 1). Estos suelos presenta un buen desarrollo de perfil encontrando dos horizontes (Ah - C o H - Ah) (Figura 15).

El horizonte superficial es de tipo mineral (Ah) u orgánico (H) con un espesor entre 40 a 43 cm y 30 a 50 cm respectivamente. El horizonte mineral presenta un color negro parduzco (7.5 YR 2/2) con un contenido de materia orgánica entre 20.60 a 56.18% y una densidad aparente de 0.53 g cm⁻³ (mediana). El horizonte orgánico presenta un color negro (10YR 2/1) con un contenido de materia orgánica entre 79.73 a 93.45 % y con una densidad aparente baja de 0.13 g cm⁻³. La conductividad hidráulica saturada de estos dos horizontes presenta similares rangos como se puede observar en la Tabla 4. También se observa una alta capacidad de retención de humedad en pF 0 en el horizonte mineral como el horizonte orgánico con contenidos de 0.72 y 0.89 cm³ cm⁻³ respectivamente, sin embargo este contenido disminuye en presiones altas, llegando a contener el horizonte mineral en pF 4.2 una humedad de 0.33 cm³ cm⁻³ mientras que en el horizonte orgánico es de 0.19 cm³ cm⁻³. En la Figura 17 se observa los contenidos de humedad de estos dos horizontes en un solo diagrama, esto se debe al número de datos que se tiene de cada tipo de horizonte.

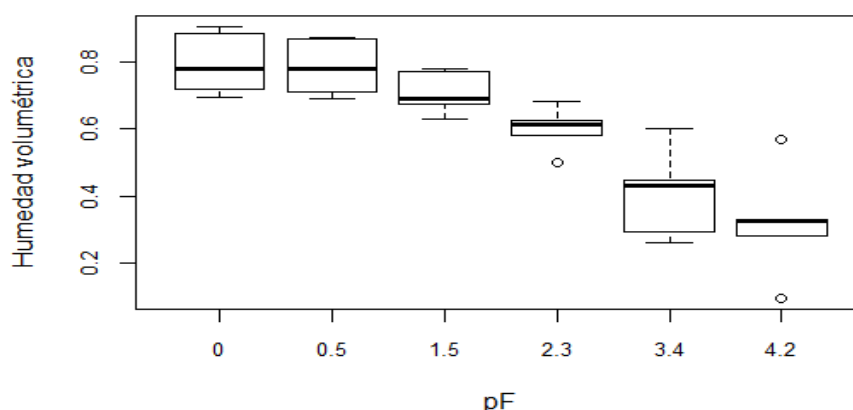


Figura 17. Diagrama de los contenidos de humedad del horizonte superficial de los suelos de punta de ladera

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014

Tabla 4. Mediana y mínima – máxima de las propiedades de los Histosoles y Andosoles en punta de ladera

Tipo de Suelo		Histosol		Andosol	
Tipo de horizonte		Superficial	Subsuperficial	Superficial	Subsuperficial
Variables	Unidad	H	Ah	Ah	C
Esp	cm	40	34	40	70
		30 – 50	28 – 40	40 – 43	
Ksat	cm h ⁻¹	0.63	0.86	0.76	0.72
		0.35 – 0.91	0.55 – 1.17	0.36 – 0.91	
DA	g cm ⁻³	0.13	0.37	0.53	1.17
		0.13 – 0.13	0.14 – 0.59	0.39 – 0.70	
pF 0	cm ³ cm ⁻³	0.89	0.87	0.72	0.53
		0.89 – 0.90	0.80 – 0.93	0.70 – 0.78	
pF 0.5	cm ³ cm ⁻³	0.87	0.83	0.71	0.53
		0.87 – 0.87	0.73 – 0.92	0.69 – 0.78	
pF 1.5	cm ³ cm ⁻³	0.73	0.81	0.67	0.52
		0.69 – 0.77	0.71 – 0.91	0.63 – 0.78	
pF 2.3	cm ³ cm ⁻³	0.56	0.68	0.62	0.5
		0.50 – 0.63	0.66 – 0.70	0.58 – 0.68	
pF 3.4	cm ³ cm ⁻³	0.28	0.48	0.45	0.41
		0.26 – 0.29	0.31 – 0.65	0.43 – 0.60	
pF 4.2	cm ³ cm ⁻³	0.19	0.41	0.33	0.19
		0.10 – 0.28	0.23 – 0.59	0.33 – 0.57	
MO	%	86.59	49.3	32.47	4.23
		79.73 – 93.45	31.70 – 66.89	20.60 – 56.18	

Esp: Espesor, Ksat: Conductividad hidráulica saturada, DA: Densidad aparente, pF 0: Contenido de humedad en pF 0, pF 0.5: Contenido de humedad en pF 0.5, pF 2.3: Contenido de humedad en pF 2.3, pF 3.4: Contenido de humedad en pF 3.4, pF 4.2: Contenido de humedad en pF 4.2, MO: Contenido de materia orgánica, Horizontes superficiales Ah con 3 observaciones, H con 2 observaciones, Horizontes subsuperficiales C con 1 observación, Ah con 2 observaciones.

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

A pesar de que el horizonte Ah es un horizonte superficial, es también subsuperficial encontrándose bajo un horizonte orgánico (Tabla 4). Este horizonte se caracteriza por tener un espesor entre 28 a 40 cm, presenta un color negro (10YR 1.7/1) con una cantidad de materia orgánica de 49.30% (mediana) y una baja densidad aparente que varía entre 0.14 a 0.59 g cm⁻³. La conductividad hidráulica saturada está entre 0.55 a 1.17 cm h⁻¹. El contenido de humedad en pF 0 oscila entre 0.80 a 0.93 cm³ cm⁻³ y en pF 4.2 el contenido está entre 0.23 y 0.59 cm³ cm⁻³.

El horizonte C es de color amarillo grisáceo (2.5Y 7/2) con un espesor de 70 cm, el contenido de materia orgánica es bajo (4.23%) y tiene una densidad alta de 1.17 g cm⁻³. La conductividad hidráulica saturada es de 0.72 cm h⁻¹. Debido a la densidad alta y el bajo contenido de materia orgánica, este horizonte presenta un bajo contenido de humedad de 0.53 cm³ cm⁻³ en pF 0 (punto de saturación) y de 0.19 cm³ cm⁻³ en pF 4.2 (punto de marchitez) (Tabla 4).

6.2.3. Características de las propiedades de los suelos en ladera baja

Los Andosoles en ladera baja tienen una profundidad entre 34 a 123 cm (Anexo 1) y están conformados por uno o dos horizontes (Ah o Ah – C).

El horizonte superficial Ah tiene un espesor entre 24 a 40 cm con un color negro (10YR 1.7/1). El contenido de materia orgánica oscila entre 51.78 a 62.20% y su densidad aparente es baja (0.27 - 0.49 g cm⁻³). La conductividad hidráulica saturada varía de 0.42 a 1.21 cm h⁻¹ como se observa en Tabla 5. Además se observa que el horizonte superficial tiene una alta capacidad de retención de humedad encontrando un contenido de humedad en pF 0 de 0.83 cm³ cm⁻³ (mediana) y en pF 4.2 de 0.51 cm³ cm⁻³, esto se puede apreciar en la Figura 18.

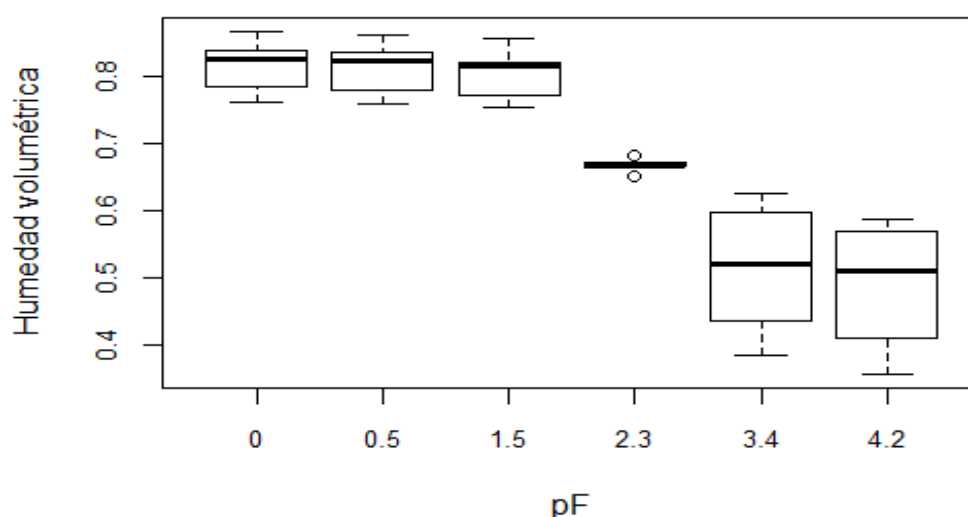


Figura 18. Diagrama de los contenidos de humedad del horizonte superficial de los suelos de ladera baja

Elaborado: Aucapiña y Marín, 2014

Tabla 5. Mediana y mínima – máxima de las propiedades de los Andosoles en ladera baja

Tipo de horizonte		Superficial	Subsuperficial
Variables	Unidad	Ah	C
Esp	cm	35 24 – 40	40 20 – 60
Ksat	cm h ⁻¹	0.63 0.42 – 1.21	0.22 0.16 – 0.28
DA	g cm ⁻³	0.31 0.27 – 0.49	1.13 0.93 – 1.32
pF 0	cm ³ cm ⁻³	0.83 0.76 – 0.87	0.56 0.47 – 0.65
pF 0.5	cm ³ cm ⁻³	0.82 0.76 – 0.86	0.55 0.46 – 0.64
pF 1.5	cm ³ cm ⁻³	0.81 0.75 – 0.86	0.54 0.45 – 0.63
pF 2.3	cm ³ cm ⁻³	0.67 0.67 – 0.67	0.46 0.41 – 0.50
pF 3.4	cm ³ cm ⁻³	0.52 0.38 – 0.62	0.37 0.35 – 0.39
pF 4.2	cm ³ cm ⁻³	0.51 0.36 – 0.59	0.22 0.21 – 0.23
MO	%	61.01 51.78 – 62.20	8.69 4.72 – 12.65

Esp: Espesor, Ksat: Conductividad hidráulica saturada, DA: Densidad aparente, pF 0: Contenido de humedad en pF 0, pF 0.5: Contenido de humedad en pF 0.5, pF 2.3: Contenido de humedad en pF 2.3, pF 3.4: Contenido de humedad en pF 3.4, pF 4.2: Contenido de humedad en pF 4.2, MO: Contenido de materia orgánica.

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

El horizonte C subsuperficial es de color marrón amarillento (2.5Y 5/4) o grisáceo oliva (5Y 6/2) con un espesor que fluctúa entre 20 y 60 cm. Presenta un bajo contenido de materia orgánica con una mediana de 8.69%, su densidad aparente oscila entre 0.93 a 1.32 g cm⁻³ y la conductividad hidráulica saturada está entre 0.16 a 0.28 cm h⁻¹. Al ser un horizonte mineral con una densidad aparente alta y un bajo contenido de materia orgánica, el contenido de humedad es bajo en pF 0 con un contenido de 0.56 cm³ cm⁻³ disminuyendo en pF 4.2 a 0.22 cm³ cm⁻³. Estas características descritas anteriormente se observan en la Tabla 5.

6.2.4. Características de las propiedades de los suelos en ladera media

Los Andosoles en ladera media tienen una profundidad entre 36 a 93 cm (Anexo 1) y se caracterizan por presentar un bajo desarrollo de perfil encontrando un solo horizonte (Ah).

El horizonte superficial Ah tiene un espesor entre 26 a 45 cm y presenta un color negro (7.5YR 1.7/1 - 10YR 1.7/1). El contenido de materia orgánica oscila entre 35.94 a 66.82% y su densidad aparente es baja (0.33 - 0.47 g cm⁻³). Su conductividad hidráulica saturada oscila entre 0.39 a 1.52 cm h⁻¹ (Tabla 6). En la Figura 19 se aprecia que los contenidos de humedad son altos en pF 0 oscilando entre 0.73 a 0.83 cm³ cm⁻³ y pese a las altas presiones que se dan en pF 4.2 se observa un alto contenido de humedad que varía entre 0.23 y 0.63 cm³ cm⁻³ (Tabla 6).

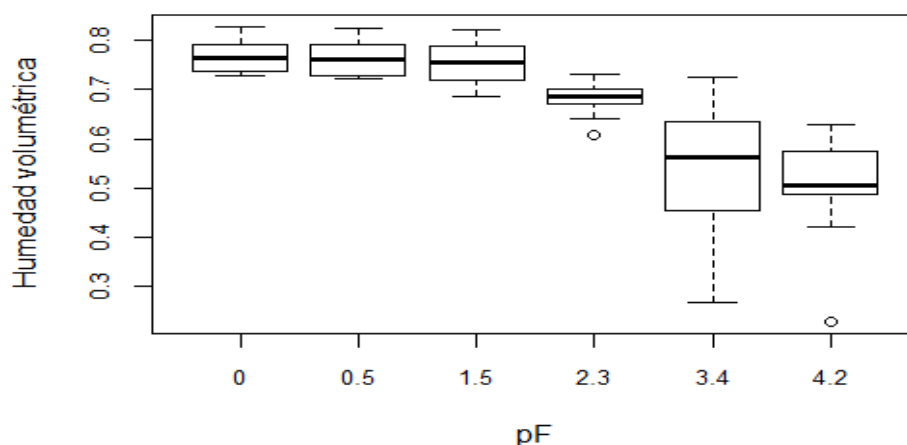


Figura 19. Contenido de humedad del horizonte superficial de los suelos de ladera media
Elaborado: Aucapiña y Marín, 2014

Tabla 6. Mediana y mínima – máxima de las propiedades de los Andosoles en ladera media

Tipo de horizonte		Superficial
Variables	Unidad	Ah
Esp	cm	35 26 – 45
Ksat	cm h ⁻¹	0.92 0.39 – 1.52
DA	g cm ⁻³	0.39 0.33 – 0.47
pF 0	cm ³ cm ⁻³	0.76 0.73 – 0.83
pF 0.5	cm ³ cm ⁻³	0.76 0.72 – 0.82
pF 1.5	cm ³ cm ⁻³	0.75 0.69 – 0.82
pF 2.3	cm ³ cm ⁻³	0.69 0.67 – 0.73
pF 3.4	cm ³ cm ⁻³	0.56 0.27 – 0.72
pF 4.2	cm ³ cm ⁻³	0.53 0.23 – 0.63
MO	%	55.59 35.94 – 66.82

Esp: Espesor, Ksat: Conductividad hidráulica saturada, DA: Densidad aparente, pF 0: Contenido de humedad en pF 0, pF 0.5: Contenido de humedad en pF 0.5, pF 2.3: Contenido de humedad en pF 2.3, pF 3.4: Contenido de humedad en pF 3.4, pF 4.2: Contenido de humedad en pF 4.2, MO: Contenido de materia orgánica.

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

6.2.5. Características de las propiedades de los suelos en ladera alta

Los Andosoles en ladera alta tienen una profundidad entre 23 a 73 cm (Anexo 1) y son caracterizados por presentar un solo horizonte superficial (Ah) lo que nos indica un bajo desarrollo de estos.

El horizonte Ah tiene un espesor entre 34 a 43 cm y presenta un color negro (7.5YR 1.7/1 – 10YR 1.7/1). El contenido de materia orgánica varía entre 21.90 a 67.17% y su densidad aparente es baja se encuentra entre 0.28 a 0.76 g cm⁻³. La conductividad hidráulica saturada fluctúa entre 0.39 y 2.07 cm h⁻¹ (Tabla 7). En la Figura 20 se observa que los contenidos de humedad son altos en pF 0 variando entre 0.63 a 0.82 cm³ cm⁻³ y a pesar de las grandes presiones que se dan en pF 4.2 los contenidos resultan ser altos en este pF oscilando entre 0.16 a 0.60 cm³ cm⁻³.

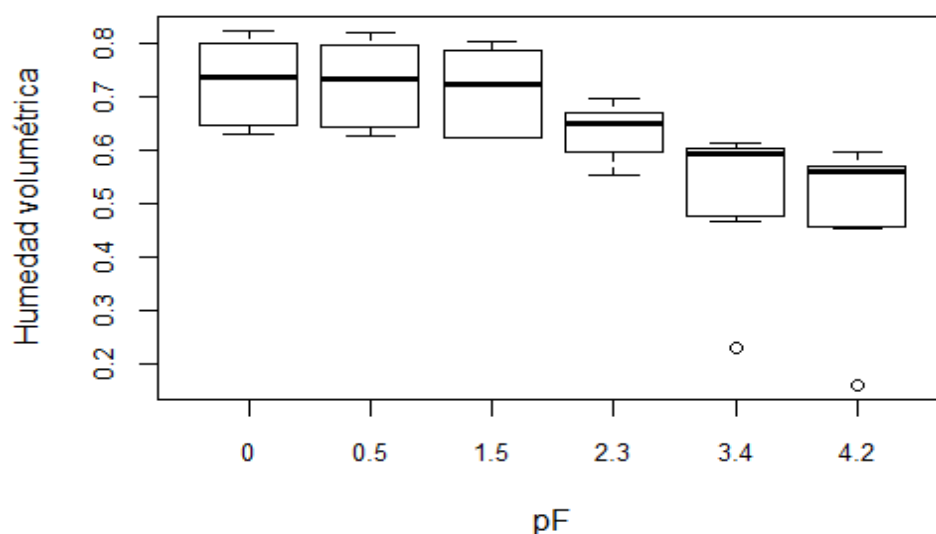


Figura 20. Diagrama de los contenidos de humedad del horizonte superficial de los suelos de ladera alta

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014

Tabla 7. Mediana y mínima – máxima de las propiedades de los Andosoles en ladera alta

Tipo de horizonte		Superficial
Variables	Unidad	Ah
Esp	cm	38 34 – 43
Ksat	cm h ⁻¹	1.06 0.39 – 2.07
DA	g cm ⁻³	0.44 0.28 – 0.76
pF 0	cm ³ cm ⁻³	0.74 0.63 – 0.82
pF 0.5	cm ³ cm ⁻³	0.73 0.63 – 0.82
pF 1.5	cm ³ cm ⁻³	0.72 0.62 – 0.80
pF 2.3	cm ³ cm ⁻³	0.65 0.56 – 0.70
pF 3.4	cm ³ cm ⁻³	0.59 0.23 – 0.61
pF 4.2	cm ³ cm ⁻³	0.56 0.16 – 0.60
MO	%	57.79 21.90 – 67.17

Esp: Espesor, Ksat: Conductividad hidráulica saturada, DA: Densidad aparente, pF 0: Contenido de humedad en pF 0, pF 0.5: Contenido de humedad en pF 0.5, pF 2.3: Contenido de humedad en pF 2.3, pF 3.4: Contenido de humedad en pF 3.4, pF 4.2: Contenido de humedad en pF 4.2, MO: Contenido de materia orgánica.

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

6.2.6. Características de las propiedades de los suelos en cumbre

Los Andosoles en cumbre tienen una profundidad entre 24 a 74 cm (Anexo 1) y se caracterizan por presentar un bajo desarrollo de perfil, encontrando un solo horizonte superficial (Ah).

El horizonte Ah tiene un espesor de 24 a 54 cm con un color negro (7.5YR 1.7/1 - 10YR 1.7/1). El contenido de materia orgánica varía entre 25.24 a 61.80% con una densidad aparente baja ($0.32 - 0.61 \text{ g cm}^{-3}$). La conductividad hidráulica saturada es baja, variando entre 0.58 y 0.79 cm h^{-1} . En la Figura 21 y Tabla 8 se observa que los contenidos de humedad son altos en pF 0 con una humedad de $0.73 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y pese a que pF 4.2 se da a grandes presiones los contenidos de humedad resultan también altos ($0.52 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

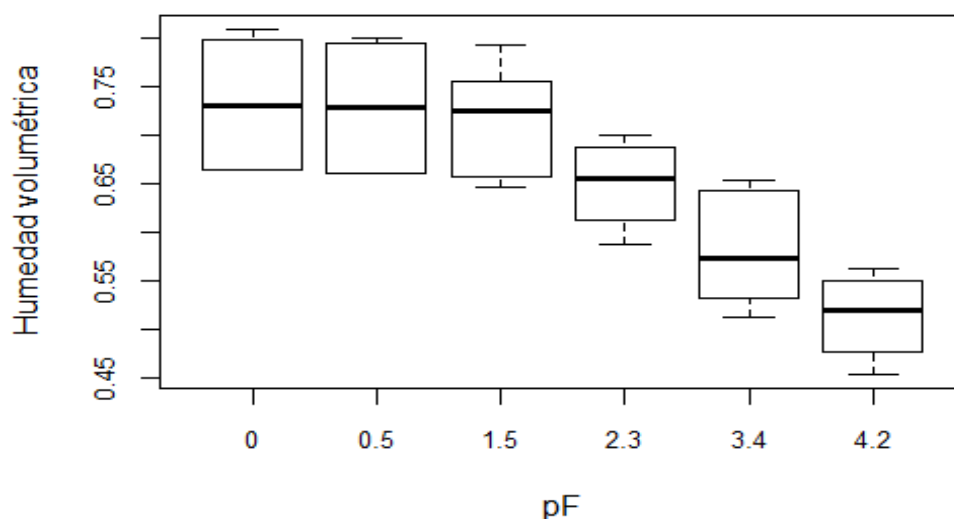


Figura 21. Diagrama de los contenidos de humedad del horizonte superficial de los suelos de cumbre

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014

Tabla 8. Mediana y mínima – máxima de las propiedades de los Andosoles en cumbre

Tipo de horizonte		Superficial
Variables	Unidad	Ah
Esp	cm	33.50 24 – 54
Ksat	cm h ⁻¹	0.67 0.58 – 0.79
DA	g cm ⁻³	0.53 0.32 – 0.61
pF 0	cm ³ cm ⁻³	0.73 0.66 – 0.81
pF 0.5	cm ³ cm ⁻³	0.73 0.66 – 0.80
pF 1.5	cm ³ cm ⁻³	0.73 0.65 – 0.79
pF 2.3	cm ³ cm ⁻³	0.65 0.59 – 0.70
pF 3.4	cm ³ cm ⁻³	0.57 0.51 – 0.65
pF 4.2	cm ³ cm ⁻³	0.52 0.46 – 0.56
MO	%	39.58 25.24 – 61.80

Esp: Espesor, Ksat: Conductividad hidráulica saturada, DA: Densidad aparente, pF 0: Contenido de humedad en pF 0, pF 0.5: Contenido de humedad en pF 0.5, pF 2.3: Contenido de humedad en pF 2.3, pF 3.4: Contenido de humedad en pF 3.4, pF 4.2: Contenido de humedad en pF 4.2, MO: Contenido de materia orgánica.

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

6.3. Efectos de la posición fisiográfica sobre los suelos

Ejecutada la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis con un nivel de significancia del 5% se determinó efectos significativos de la posición fisiográfica sobre la profundidad del suelo y la mayoría de las propiedades hidrofísicas de los horizontes superficiales, estos resultados se exponen en la Tabla 9. Además, mediante los contenidos de humedad se determinó el contenido de agua gravitacional y agua disponible, de estos dos contenidos se determinó también el efecto de la posición fisiográfica. Debido a la importancia de la materia orgánica con las propiedades hidrofísicas se determinó el efecto de la posición fisiográfica sobre dicha propiedad química.

Debido a que no se contó con un mínimo de datos de los horizontes subsuperficiales no se pudo realizar el análisis estadístico de dichos horizontes.

Tabla 9. Efectos de la posición fisiográfica en la profundidad de los suelos y las propiedades de los horizontes superficiales

Variables	Valores p
Prof	0.00007***
Esp	0.47 ^{NS}
Ksat	0.13 ^{NS}
DA	0.0008***
pF 0	0.0014**
pF 0.5	0.0015**
pF 1.5	0.07 ^{NS}
pF 2.3	0.0057**
pF 3.4	0.0032**
pF 4.2	0.0005***
Agua Gravitacional	0.001**
Agua disponible	0.004**
MO	0.0031**

Prof: Profundidad de los suelos, Esp: Espesor del horizonte, Ksat: Conductividad hidráulica saturada, Da: Densidad aparente, pF 0: Contenido de humedad en pF 0, pF 0.5: Contenido de humedad en pF 0.5, pF 2.3: Contenido de humedad en pF 2.3, pF 3.4: Contenido de humedad en pF 3.4, pF 4.2: Contenido de humedad en pF 4.2, MO: Materia orgánica, ^{NS}: No significativo, *: Significativo, **: Muy significativo, ***: Altamente significativo.

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

6.3.1. Efectos de la posición fisiográfica sobre la profundidad de los suelos

La profundidad de los suelos se ve afectada por la posición fisiográfica, ya que se obtuvo en el test de Krukal – Wallis un resultado altamente significativo ($p=0.00007$) como se puede observar en la Tabla 9, y mediante el test de U de Mann-Whitney se determinó las posiciones donde la profundidad de los suelos presentan diferencias significativas como se aprecia en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultados del test de U de Mann-Whitney de la profundidad del perfil de los suelos según la posición fisiográfica

Comparación	Valor P
A-B	0.10 ^{NS}
A-C	0.008*
A-D	0.0001***
A-E	0.00002***
A-F	0.0002***
B-C	0.55 ^{NS}
B-D	0.16 ^{NS}
B-E	0.02*
B-F	0.18 ^{NS}
C-D	0.50 ^{NS}
C-E	0.08 ^{NS}
C-F	0.25 ^{NS}
D-E	0.09 ^{NS}
D-F	0.70 ^{NS}
E-F	0.18 ^{NS}

A: Fondo de valle; B: Punta de ladera; C: Ladera baja; D: Ladera media; E: Ladera alta; F: Cumbre, Med: Mediana, ^{NS}: No significativo, *: Significativo, **: Muy significativo, ***: Altamente significativo.

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

En la Figura 22 y Anexo 1 se observa que los suelos en fondo de valle y punta de ladera presentan una mayor profundidad con un valor de 162.50 y 96 cm (respectivamente), mediante el test de U de Mann – Whitney se determinó que estas dos posiciones no presentan diferencias significativas (A-B= 0.10), pero los suelos de fondo de valle si difieren significativamente con los suelos de ladera baja (A-C= 0.008), ladera media (A-D= 0.0001), ladera alta (A-E= 0.00002) y cumbre (A-F= 0.0002) (Tabla 10), ya que estas últimas presenta una profundidad menor con un valor de 72, 59, 41 y 51.5 cm respectivamente, esta diferencia se debe a que los suelos de fondo de valle son caracterizados por presentar mayor desarrollo de horizontes por la acumulación de material orgánico y una meteorización del horizonte R. Por otra parte, los suelos de ladera baja, ladera media, ladera alta y cumbre no presentan diferencias significativas, ya que al ser comparados presentaron valores p superiores a 0.05 como se observa en la Tabla 10. Esta similitud se debe a la capa homogénea de ceniza volcánica que se acumuló en estas posiciones y muestran poco desarrollo encontrando generalmente un solo

horizonte Ah. Estos resultados son consistentes con estudios realizados por Cajamarca & Tenorio (2009), Cisneros et al., (2010), Llambí et al., 2012 y Quichimbo et al., (2011) donde se describe que los suelos de fondo de valle presentan un mayor desarrollo que los suelos ubicados en ladera.

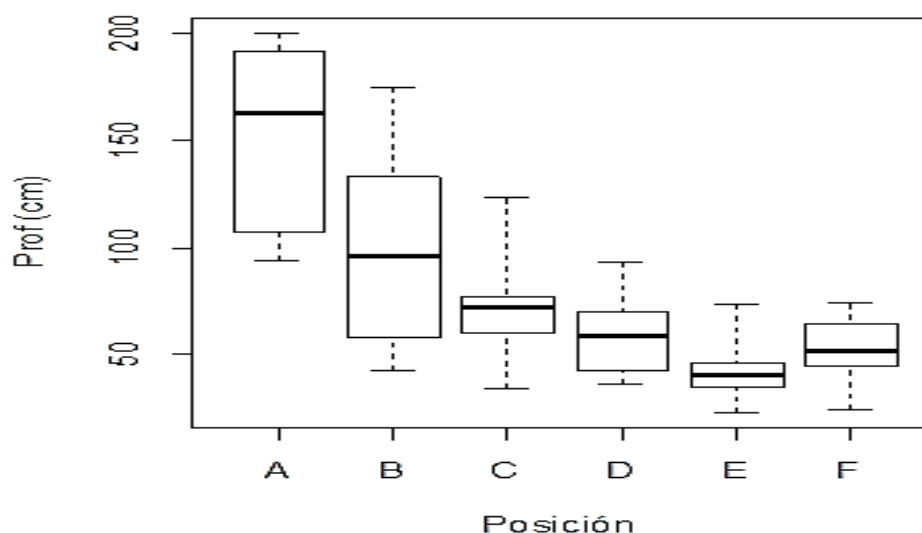


Figura 22. Profundidad de los suelos según la posición fisiográfica

A: Fondo de valle; B: Punta de ladera; C: Ladera baja; D: Ladera media; E: Ladera alta; F: Cumbre, Profundidad (cm).

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014

6.3.2. Efectos de la posición fisiográfica sobre las propiedades hidrofísicas de los horizontes superficiales

El espesor y la conductividad hidráulica saturada no se ven afectadas por la posición fisiográfica debido a que en el test de Kruskal – Wallis se obtuvo valores p de 0.47 y 0.13 respectivamente, resultando ser no significativos como se puede apreciar en la Tabla 9 y Figura 23. Pese a que no se encontraron diferencias en estas dos propiedades mencionadas anteriormente, estas pueden verse afectadas por otro factor como es la ubicación geográfica, ya que en el norte del país existe una frecuente acumulación de ceniza volcánica por lo que incrementa su espesor y presenta una conductividad hidráulica alta que está entre 5 a 6 cm h⁻¹ (Perrin & Poulenard, 2001; Poulenard et al., 2001) a diferencia del presente estudio que varía entre 0.54 a 2.84 cm h⁻¹.



Tabla 11. Medianas y mínima – máxima de las propiedades hidrofísicas de los horizontes superficiales

Posición	Esp cm	Ksat cm h ⁻¹	DA g cm ⁻³	pF 0 cm ³ cm ⁻³	pF 0.5 cm ³ cm ⁻³	pF 1.5 cm ³ cm ⁻³	pF 2.3 cm ³ cm ⁻³	pF 3.4 cm ³ cm ⁻³	pF 4.2 cm ³ cm ⁻³
A	41.50 24 – 44	1.28 0.54 - 2.84	0.11 0.07 - 0.22	0.90 0.80 - 0.93	0.89 0.78 - 0.92	0.78 0.69 - 0.84	0.62 0.56 - 0.66	0.27 0.16 - 0.36	0.17 0.13 - 0.26
B	40 40 – 43	0.76 0.35 - 0.91	0.39 0.13 - 0.71	0.78 0.70 - 0.90	0.78 0.69 - 0.87	0.69 0.63 - 0.78	0.62 0.58 - 0.68	0.43 0.26 - 0.60	0.33 0.28 - 0.33
C	35 24 – 40	0.63 0.42 - 1.21	0.31 0.27 - 0.49	0.83 0.76 - 0.87	0.82 0.76 - 0.86	0.81 0.75 - 0.86	0.67 0.67 - 0.67	0.52 0.38 - 0.62	0.51 0.36 - 0.59
D	35 26 – 45	0.92 0.39 - 1.52	0.39 0.33 - 0.47	0.76 0.73 - 0.83	0.76 0.72 - 0.82	0.75 0.69 - 0.82	0.69 0.67 - 0.73	0.56 0.27 - 0.72	0.53 0.23 - 0.63
E	38 34 – 43	1.06 0.39 - 2.07	0.44 0.28 - 0.76	0.74 0.63 - 0.82	0.73 0.63 - 0.82	0.72 0.62 - 0.80	0.65 0.56 - 0.70	0.59 0.23 - 0.61	0.56 0.16 - 0.60
F	33.50 24 – 54	0.67 0.58 - 0.79	0.53 0.32 - 0.61	0.73 0.66 - 0.81	0.73 0.66 - 0.80	0.73 0.65 - 0.79	0.65 0.59 - 0.70	0.57 0.51 - 0.65	0.52 0.46 - 0.56

A: Fondo de valle; B: Punta de ladera; C: Ladera baja; D: Ladera media; E: Ladera alta; F: Cumbre, Esp: Espesor del horizonte, Ksat: Conductividad hidráulica saturada, DA: Densidad aparente, pF 0: Contenido de humedad en pF 0, pF 0.5: Contenido de humedad en pF 0.5, pF 2.3: Contenido de humedad en pF 2.3, pF 3.4: Contenido de humedad en pF 3.4, pF 4.2: Contenido de humedad en pF 4.2.

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

Tabla 12. Resultados del test de U de Mann – Whitney para identificar el efecto de la posición fisiográfica sobre las propiedades hidrofísicas en los horizontes superficiales.

Pos	Esp	Ksat	DA	pF 0	pF 0.5	pF 1.5	pF 2.3	pF 3.4	pF 4.2
A-B	1.00 ^{NS}	0.08 ^{NS}	0.001**	0.06 ^{NS}	0.03*	0.06 ^{NS}	0.45 ^{NS}	0.04*	0.02*
A-C	0.31 ^{NS}	0.07 ^{NS}	0.08 ^{NS}	0.06 ^{NS}	0.06 ^{NS}	0.69 ^{NS}	0.02*	0.002*	0.003**
A-D	0.59 ^{NS}	0.08 ^{NS}	0.00004** *	0.0002** *	0.0004***	0.31 ^{NS}	0.0003** *	0.001* *	0.0003** *
A-E	0.56 ^{NS}	0.26 ^{NS}	0.00004** *	0.0005** *	0.0005*** *	0.08 ^{NS}	0.35 ^{NS}	0.005*	0.0005** *
A-F	0.68 ^{NS}	0.20 ^{NS}	0.0004***	0.004**	0.002**	0.08 ^{NS}	0.10 ^{NS}	0.002*	0.001**
B-C	0.07 ^{NS}	0.83 ^{NS}	1.00 ^{NS}	0.84 ^{NS}	0.92 ^{NS}	0.02*	0.40 ^{NS}	0.31 ^{NS}	0.04*
B-D	0.13 ^{NS}	0.19 ^{NS}	0.95 ^{NS}	0.95 ^{NS}	0.95 ^{NS}	0.16 ^{NS}	0.03*	0.13 ^{NS}	0.01*
B-E	0.19 ^{NS}	0.08 ^{NS}	0.70 ^{NS}	0.24 ^{NS}	0.24 ^{NS}	1.00 ^{NS}	0.94 ^{NS}	0.28 ^{NS}	0.02*
B-F	0.24 ^{NS}	0.90 ^{NS}	0.54 ^{NS}	0.41 ^{NS}	0.43 ^{NS}	0.93 ^{NS}	0.48 ^{NS}	0.06 ^{NS}	0.02*
C-D	0.84 ^{NS}	0.39 ^{NS}	0.44 ^{NS}	0.08 ^{NS}	0.08 ^{NS}	0.10 ^{NS}	0.01*	0.59 ^{NS}	0.62 ^{NS}
C-E	0.25 ^{NS}	0.36 ^{NS}	0.15 ^{NS}	0.04*	0.04*	0.045*	0.48 ^{NS}	0.94 ^{NS}	0.53 ^{NS}
C-F	1.00 ^{NS}	0.81 ^{NS}	0.08 ^{NS}	0.03*	0.052 ^{NS}	0.03*	0.91 ^{NS}	0.31 ^{NS}	1.00 ^{NS}
D-E	0.29 ^{NS}	0.57 ^{NS}	0.45 ^{NS}	0.49 ^{NS}	0.49 ^{NS}	0.41 ^{NS}	0.009**	0.63 ^{NS}	1.00 ^{NS}
D-F	0.76 ^{NS}	0.35 ^{NS}	0.33 ^{NS}	0.30 ^{NS}	0.31 ^{NS}	0.31 ^{NS}	0.04*	0.76 ^{NS}	0.36 ^{NS}
E-F	0.31 ^{NS}	0.18 ^{NS}	0.86 ^{NS}	0.76 ^{NS}	0.78 ^{NS}	0.95 ^{NS}	0.56 ^{NS}	0.28 ^{NS}	0.37 ^{NS}

Pos: Posición; A: Fondo de valle; B: Punta de ladera; C: Ladera baja; D: Ladera media; E: Ladera alta; F: Cumbre, Esp: Espesor, Ksat: Conductividad hidráulica saturada, DA: Densidad aparente, pF 0: Contenido de humedad en pF 0, pF 0.5: Contenido de humedad en pF 0.5, pF 2.3: Contenido de humedad en pF 2.3, pF 3.4: Contenido de humedad en pF 3.4, pF 4.2: Contenido de humedad en pF 4.2, ^{NS}: No significativo, *: Significativo, **: Muy significativo, ***: Altamente significativo.
Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

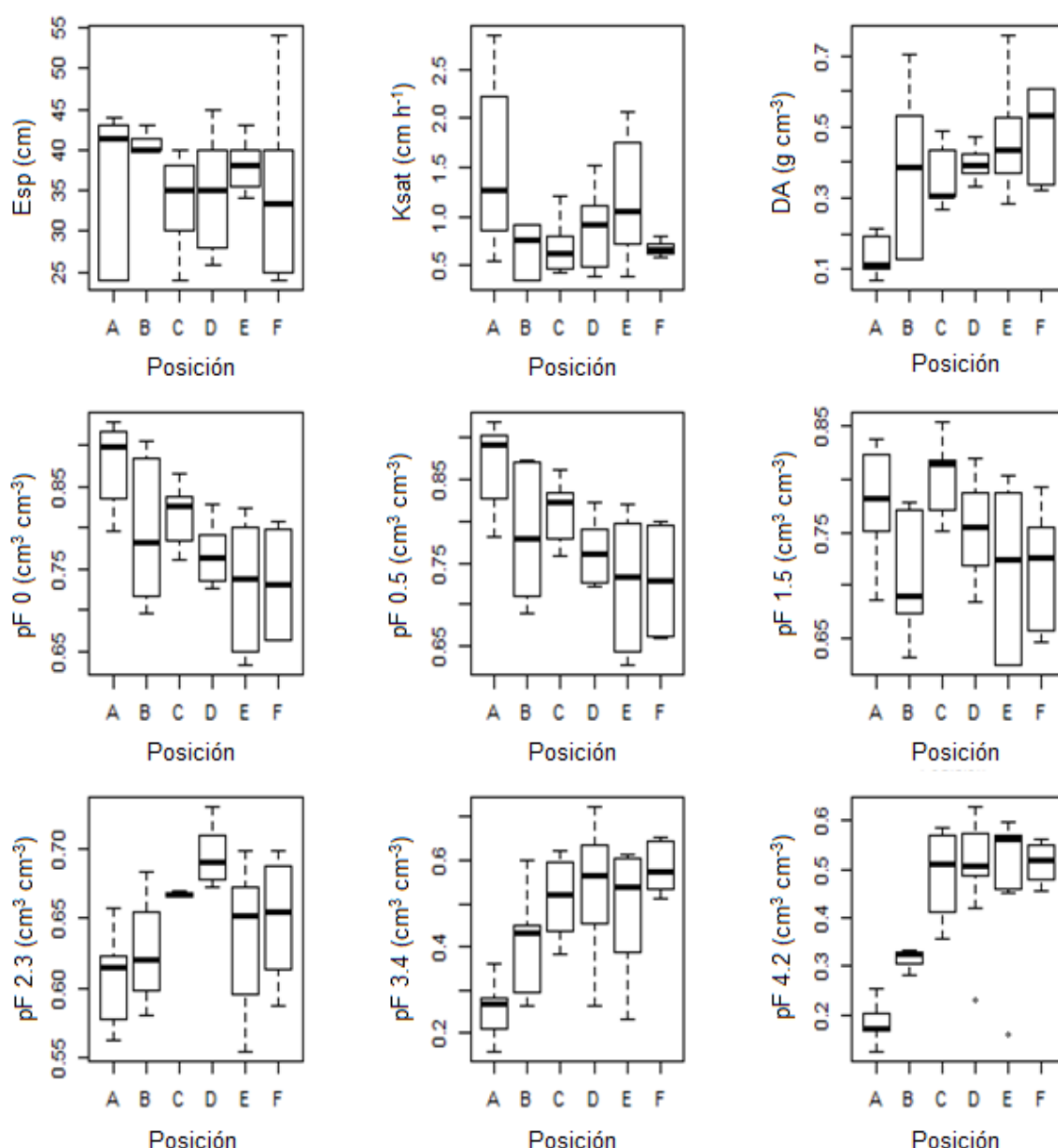


Figura 23. Diagrama de cajas de las propiedades hidrofísicas de los horizontes superficiales según la posición fisiográfica.

Esp: Espesor, **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada, **DA:** Densidad aparente, **pF 0:** Contenido de humedad en pF 0, **pF 0.5:** Contenido de humedad en pF 0.5, **pF 2.3:** Contenido de humedad en pF 2.3, **pF 3.4:** Contenido de humedad en pF 3.4, **pF 4.2:** Contenido de humedad en pF 4.2.

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014

Con respecto a la densidad aparente, esta propiedad se ve afectada por la posición fisiográfica obteniendo en el test de Kruskal – Wallis un valor p de 0.0008 (Tabla 9) que resulta ser altamente significativo, mediante el test de U de Mann – Whitney se determinó las posiciones fisiográficas donde esta

variable presento diferencias significativas, estas diferencias se pueden apreciar en la Tabla 11. En la Figura 23 se observa que fondo de valle presentan valores inferiores de densidad aparente (0.11 g cm^{-3}) en comparación a los de punta de ladera, ladera media, ladera alta y cumbre con densidades aparentes de 0.39, 0.39, 0.44 y 0.53 g cm^{-3} respectivamente, estas diferencias resulta ser significativas ($A-B= 0.001$, $A-D= 0.00004$, $A-E= 0.00004$ y $A-F= 0.0004$) como se observa en la Tabla 12. Estas diferencias se deben a que en fondo de valle se desarrolla un horizonte superficial orgánico debido a la acumulación de materia orgánica, y que según Collantes & Faggi (1999), la acumulación de materia orgánica se da en posiciones bajas que presentan condiciones de humedad alta y al tipo de cobertura vegetal hidrófila por lo que es consistente con nuestro estudio. En punta de ladera, ladera baja, ladera media y cumbre no presentaron diferencias significativas ya que se obtuvo valores p superiores a 0.005 que resultan ser no significativos como se observa en la Tabla 12, esta similitud se debe a que los horizontes en estas cinco posiciones provienen de un mismo material parental que es la acumulación de ceniza volcánica (Shoji et al., 1993) y por su cobertura predominante de tipo pajonal. Por otra parte, en la Figura 23 se observa que la densidad aparente en punta de ladera presenta un amplio rango, esto se le atribuye a que en punta de ladera se da procesos de acumulación de material mineral y orgánico provenientes de ladera y cumbre por acción de la lluvia y la gravedad tal como lo describe Porta et al., (2003).

Acorde con Borja & Garrido (2003), Borja et al., (2008), Buytaert et al., (2006) y Llambí et al., (2012) los suelos de páramo tienen una alta capacidad de retención de humedad en $pF\ 0$, no obstante esta capacidad se ve afectada por la posición fisiográfica debido a que se obtuvo en el test de Krukal – Wallis un valor p de 0.0014 que resulta ser muy significativo como se observa en la Tabla 9. La capacidad de retención de humedad en $pF\ 0$ (punto de saturación) es dependiente del tipo de posición fisiográfica, ejecutado el test de U de Mann – Whitney se tuvo resultados significativos

como se aprecia en la Tabla 12. En la Figura 23 y Tabla 11 se observa que fondo de valle presenta una mayor capacidad de retención con una humedad de $0.90 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, también existe una misma tendencia para punta de ladera ($0.78 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) y ladera baja ($0.83 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Estas tres posiciones no muestran diferencias significativas entre ellas ($p= 0.06$). Por otro lado la capacidad de retención de humedad es menor en ladera media, ladera alta y cumbre en comparación con fondo de valle, estas diferencias son significativas ya que se obtuvo valores p menores a 0.01 (A-D, A-E y A-F) como se observa en la Tabla 12. Según Buytaert et al., (2006), la alta capacidad de retención de humedad en pF 0 se debe a la baja densidad aparente por lo que esto es consistente con nuestro estudio ya que en el presente estudio se tuvo un factor de correlación de -0.94 entre densidad aparente y contenidos de humedad en pF 0 (Tabla 13). Esto nos da a entender que si la densidad aparente tiende a aumentar los contenidos de humedad en pF 0 tienden a disminuir significativamente (valor $p = 0.001$ (Anexo 2)).

La capacidad de retención de humedad en pF 0.5 se ve también afectada por la posición fisiográfica, ya que en el test de Kruskal – Wallis se obtuvo un valor p de 0.0015 que resultó ser muy significativo (Tabla 9). Mediante el test de U de Mann – Whitney se determinó las posiciones donde la capacidad de retención de humedad en pF 0.5 varía significativamente como se observa en la Tabla 12. En la Figura 23 se observa una mayor capacidad de retención en fondo de valle y ladera baja con un contenido de $0.89 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y $0.82 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ respectivamente. Estos dos grupos no presentan diferencias significativas (A-C= 0.06) como se observa en la Tabla 12, aunque en punta de ladera, ladera media, ladera alta y cumbre presentan contenidos de 0.78, 0.76, 0.73 y $0.73 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (respectivamente) y difieren significativamente con fondo de valle (A-B= 0.03, A-D= 0.0004, A-E= 0.0005 y A-F= 0.002). Además en la misma Tabla se aprecia que ladera alta y cumbre también presentan diferencias significativas ante ladera baja (C-E= 0.04 y C-F= 0.03). Finalmente los contenidos de humedad en punta de ladera, ladera alta y



cumbre no presentan diferencias significativas entre ellas ya que se puede apreciar en la Tabla 12 que los valores p son mayores a 0.05 y resultan ser no significativos. Las diferencias significativas descritas anteriormente son atribuidas a la densidad aparente ya que se obtuvo un coeficiente de correlación de -0.94 (Tabla 13) por lo que podemos interpretar que al incrementar la densidad aparente la capacidad de retención en pF 0.5 tiende también a disminuir significativamente (valor p menor a 0.001 (Anexo 2)).

En pF 1.5, la capacidad de retención de humedad no se ve afectada por la posición fisiográfica debido a que en el test de Kruskal – Wallis se obtuvo un valor p de 0.07 resultando ser no significativo como se puede observar en la Tabla 9. Aun así, en la Figura 23 se observa que fondo de valle, ladera baja y ladera media presenta una mayor capacidad de retención de humedad con un volumen de $0.78 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, $0.81 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y $0.76 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ respectivamente a diferencia de punta de ladera, ladera alta y cumbre que muestran una menor capacidad de retención. Además mediante el test de U de Mann – Whitney se determinó diferencias como se exponen en la Tabla 12. En la Tabla 12 se observa que la capacidad de retención de humedad difiere significativamente entre ladera baja con punta de ladera (C-B= 0.02), ladera alta (C-E= 0.45) y cumbre (C-F= 0.03), estas tres últimas posiciones presentan una menor capacidad de retención de humedad como se aprecia en la Tabla 11. En este pF los contenidos de humedad no muestran una dependencia alta con la densidad aparente como se describió en pF 0 y pF 0.5, pero existe una dependencia importante ya que se obtuvo un factor de correlación de -0.66 (Tabla 13) que resulta ser altamente significativo (valor p menor a 0.001 (Anexo 2)). Según Buytaert (2004) y Iñiguez (2003) la capacidad de retención de humedad en pF 0 y cercano a este depende de la densidad aparente, por lo que concuerda con lo explicado.

Tabla 13. Matriz de correlaciones de las propiedades de los horizontes superficiales

	Esp	Ksat	DA	pF 0	pF 0.5	pF 1.5	pF 2.3	pF 3.4	pF 4.2
Esp	1								
Ksat	0.14	1							
DA	-0.11	-0.29	1						
pF 0	0.08	0.23	-0.94	1					
pF 0.5	0.09	0.24	-0.94	1	1				
pF 1.5	0.02	0.31	-0.66	0.78	0.80	1			
pF 2.3	-0.06	0.03	-0.09	0.16	0.18	0.51	1		
pF 3.4	-0.15	0.09	0.39	-0.29	-0.28	0.11	0.71	1	
pF 4.2	0.00	-0.06	0.46	-0.44	-0.43	-0.08	0.55	0.92	1

Esp: Espesor, **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada, **DA:** Densidad aparente, **pF 0:** Contenido de humedad en pF 0, **pF 0.5:** Contenido de humedad en pF 0.5, **pF 2.3:** Contenido de humedad en pF 2.3, **pF 3.4:** Contenido de humedad en pF 3.4, **pF 4.2:** Contenido de humedad en pF 4.2.

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

La capacidad de retención de humedad en pF 2.3 se ve afectada por la posición fisiográfica, obteniendo en el test de Kruskal – Wallis un valor p de 0.0057 que resulta ser muy significativo y mediante el teste de U de Mann – Whitney se determinó que este efecto depende del tipo de posición fisiográfica como se observa en la Tabla 12. En la Figura 23 y Tabla 11 se aprecia una mayor capacidad de retención en ladera media con un contenido de humedad de $0.69 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, diferenciándose significativamente con los contenidos de fondo de valle (D-A= 0.0003), punta de ladera (D-B= 0.03), ladera baja (D-C= 0.01), ladera alta (D-E= 0.009) y cumbre (D-F= 0.04) (Tabla 12). Además se puede apreciar diferencias significativas entre ladera baja con fondo de valle (C-A= 0.02). Según Llambí et al., 2012, los contenidos de humedad en pF 2.3 depende del tipo de porosidad del suelo, dado que a mayor macroporosidad de los suelos existe una menor capacidad de retención de humedad contra la gravedad y a menor macroporosidad se da una mayor retención de humedad, por lo que esto nos ayuda a explicar las diferencias descritas anteriormente y concuerda con las descripciones hechas en los contenidos de humedad en pF 2.3 donde se ve que existe una menor capacidad de retención de humedad en fondo de valle

que en ladera media. Esto se debe a que en fondo de valle son horizontes orgánicos que presentan una mayor macroporosidad.

La capacidad de retención de humedad en pF 3.4 se ve afectada por la posición fisiográfica, teniendo en el test de Kruskal – Wallis un valor p de 0.0032 resultando ser muy significativo (Tabla 9). En la Figura 23 se aprecia que ladera baja, ladera media, ladera alta y cumbre presentan una capacidad de retención alta con contenidos de 0.52, 0.56, 0.59 y 0.57 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ respectivamente, y estas no difieren significativamente entre ellas debido a que se obtuvo en el test de U Mann – Whitney un valor p mayor a 0.05 como se observa en la Tabla 12. Pese a que punta de ladera presenta una menor capacidad de retención de humedad que las anteriores posiciones, estas no presentan diferencias significativas (B-C= 0.31, B-D= 0.13, B-E= 0.28, B-F= 0.06). Sin embargo, en fondo de valle que es caracterizado por tener una menor capacidad de retención de humedad presenta diferencias significativas con el resto de las posiciones fisiográfica (A-B= 0.04, A-C= 0.002, A-D= 0.001, A-E= 0.005, A-F 0.002). Estas diferencias descritas se le atribuyen en parte a la densidad aparente ya que en nuestros resultados se tiene un factor de correlación de 0.39 con un valor p de 0.01 que resulta ser significativo (Anexo 2). Esto sugeriría que en fondo de valle por tener una menor densidad y ser un horizonte orgánico presenta una mayor macroporosidad por lo tanto el agua es extraída con mayor facilidad a diferencia de los minerales.

La capacidad de retención de humedad en pF 4.2 también se ve afectada significativamente por la posición fisiográfica obteniendo en el test de Kruskal – Wallis un valor p de 0.0005 que resulta ser altamente significativo (Tabla 9). En la Figura 23 se puede ver que esta capacidad depende del tipo de posición fisiográfica encontrado en ladera baja, ladera media, ladera alta y cumbre una mayor capacidad de retención de humedad con contenidos de 0.51, 0.53, 0.56 y 0.52 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ respectivamente. Estas 4 posiciones no presenta diferencias significativas entre ellas dado que en el test de U de

Mann – Whitney se obtuvo valores p altos (C-D= 0.62, C-E= 0.53, C-F= 1.00, D-E= 1.00, D-F= 0.36 y E-F= 0.37) (Tabla 12). Por otro lado estas difieren significativamente con fondo de valle (A-B= 0.02, A-C= 0.003, A-D= 0.0003, A-E= 0.0005 y A-F= 0.001) y punta de ladera (B-C= 0.4, B-D= 0.01, B-E= 0.02 y B-F= 0.02) mostrando estas dos últimas una menor capacidad de retención de humedad con contenidos de 0.17 y 0.33 $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ respectivamente (Tabla 11). Esta disminución de humedad depende en parte de la densidad aparente debido a que se tiene un factor de correlación de 0.46 con un valor p de 0.005 que resulta ser significativo (Anexo 2). Por otra parte, según estudios realizados por Borja et al., (2008), Buytaert et al., (2005), Buytaert et al., (2006), Llambí et al., (2012), Nanzzyo, (1993), Nanzzyo (2002) y Shoji (1993) indican que los suelos que contenga grandes volúmenes de humedad en pF 4.2 o mayores a este se debe al contenido mineral del horizonte y a una predominancia de microporosidad, por lo que podemos interpretar que en posiciones de ladera baja, ladera media, ladera alta y cumbre por ser horizontes minerales de origen volcánico existe una predominancia de microporos dando como resultado una alta retención de agua a diferencia de fondo de valle que son horizontes orgánicos con una mayor macroporosidad.

6.3.3. Efectos de la posición fisiográfica sobre los contenidos de agua gravitacional (pF 0 – pF 2.3) y agua disponible (pF 2.3 – pF 4.2) de los horizontes superficiales

El agua gravitacional corresponde al agua que está comprendida entre pF 0 (punto de saturación) y pF 2.3 (capacidad de campo), esta es agua libre que se puede mover por acción de la gravedad pero su volumen se ve afectado significativamente por la posición fisiográfica dado que en el test de Kruskal – Wallis se obtuvo un valor p de 0.001 (Tabla 9). En la Figura 24 y Tabla 15 se aprecia un mayor volumen de agua gravitacional en fondo de valle, punta de ladera y ladera baja con un contenido de 0.28, 0.10 y 0.16 $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ respectivamente, mediante el test de U de Mann – Whitney se determinó que estas posiciones no presentan diferencias significativas entre ellas (A-B=

0.07, A-C= 0.07 y B-C= 0.86 (Tabla14)), sin embargo fondo de valle si presenta diferencias significativas con ladera media (A-D= 0.001), ladera alta (A-E= 0.0002) y cumbre (A-F= 0.001) presentando contenidos de humedad de 0.07, 0.09 y 0.08 $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ respectivamente. Finalmente, no existen diferencias significativas entre las tres últimas posiciones antes nombradas (D-E= 0.47, D-F= 0.95 y E-F= 0.39 (Tabla 14)). De las diferencias encontradas en este análisis podemos decir que en fondo de valle existe una mayor pérdida de agua por acción de la gravedad esto se le atribuye a que son horizontes orgánicos con un gran contenido de macroporos, mientras que en ladera media, ladera alta y cumbre presentan un volumen mínimo de pérdida por acción de la gravedad, esto se debe a que son horizontes minerales (alofana) provenientes de ceniza volcánica y que según Llambí et al., (2012) y Shoji et al., (1993), estos poseen una cantidad mayor de microporos y mesoporos lo cual contribuye una mayor capacidad de retención de agua.

Tabla 14. Resultados del test de U de Mann-Whitney de los contenidos de agua gravitacional y agua disponible

Posición	Agua gravitacional	Agua disponible
A-B	0.07 ^{NS}	0.10 ^{NS}
A-C	0.07 ^{NS}	0.04*
A-D	0.001**	0.003**
A-E	0.0002***	0.003**
A-F	0.001**	0.004**
B-C	0.86 ^{NS}	0.80 ^{NS}
B-D	0.0504 ^{NS}	0.06 ^{NS}
B-E	0.28 ^{NS}	0.06 ^{NS}
B-F	0.11 ^{NS}	0.07 ^{NS}
C-D	0.051 ^{NS}	0.52 ^{NS}
C-E	0.37 ^{NS}	1.00 ^{NS}
C-F	0.26 ^{NS}	0.71 ^{NS}
D-E	0.47 ^{NS}	0.07 ^{NS}
D-F	0.95 ^{NS}	0.53 ^{NS}
E-F	0.39 ^{NS}	0.63 ^{NS}

A: Fondo de valle; B: Punta de ladera; C: Ladera baja; D: Ladera media; E: Ladera alta; F: Cumbre, Med: Mediana, ^{NS}: No significativo, *: Significativo, **: Muy significativo, ***: Altamente significativo.

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.



El agua disponible corresponde al contenido de humedad que existe entre pF 2.3 (capacidad de campo) y pF 4.2 (punto de marchitez), también esta se la conoce como agua aprovechable o agua disponible para la planta. Este tipo de agua también se ve influenciada por la posición fisiográfica, teniendo en el test de Kruskal – Wallis un valor p de 0.004 que resulta ser muy significativo (Tabla 9). En la Figura 24 y Tabla 15 se observa una mayor disponibilidad de agua en fondo de valle y punta de ladera con un volumen de 0.45 y $0.29 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ respectivamente, mediante el test de U de Mann – Whitney estas dos posiciones no muestran diferencias significativas (A-B= 0.10 (Tabla 14)), no obstante fondo de valle si difiere significativamente con ladera baja, ladera media, ladera alta y cumbre (A-C= 0.04, A-D= 0.003, A-E= 0.003 y A-F= 0.004 (Tabla 14)), puesto que estas últimas posiciones presentan una menor disponibilidad con valores de 0.16, 0.16, 0.09 y 0.13 $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ respectivamente como se observa en la Tabla 15. Esta diferencia de disponibilidad se debe a que los horizontes superficiales de fondo de valle no son minerales y debido a sus altos contenidos de materia orgánica son porosos presentando una mayor macroporosidad por lo que existe una mayor disponibilidad a diferencia de los horizontes ubicados a lo largo de ladera y cumbre que provienen de un material volcánico y que según Porta et al., (2003) estos materiales presentan contenidos de Aluminio-silicatos amorfos y paracristalinos que son caracterizados por su gran capacidad de retención de agua de un 80 a 180% lo que da como resultado una reducción de la disponibilidad de agua.

Tabla 15. Medianas de los contenidos de agua gravitacional, agua disponible y agua residual de los horizontes superficiales según la posición fisiográfica

Posición	pF 0 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	Agua gravitacional $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	Agua disponible $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	Agua residual $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
A	0.90	0.28	0.45	0.17
B	0.72	0.10	0.29	0.33
C	0.83	0.16	0.16	0.51
D	0.76	0.07	0.16	0.53
E	0.74	0.09	0.09	0.56
F	0.73	0.08	0.13	0.52

A: Fondo de valle; B: Punta de ladera; C: Ladera baja; D: Ladera media; E: Ladera alta; F: Cumbre.

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

Finalizando el análisis del agua gravitacional y agua disponible de los horizontes superficiales, y mediante las medianas de los contenidos de humedad en pF 0 de cada posición se calculó los porcentajes de agua gravitacional, agua disponible y agua residual, que fueron los siguientes:

- En fondo de valle, el horizonte superficial presenta un contenido de $0.90 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ de agua en saturación (pF 0), de este contenido el 31.11% se pierde por acción de la gravedad, el 50% resulta ser agua disponible y tan solo el 18.89% es agua residual.
- En punta de ladera, el horizonte superficial presenta un contenido de $0.72 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ en pF 0 y de este contenido el 13.89% se pierde por acción de la gravedad, el 40.28% es agua disponible y el 45.83% es agua residual.
- En ladera baja, el horizonte superficial presenta un contenido de $0.83 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ en pF 0, el 19.28% es agua gravitacional, el 19.28% es de agua disponible y el 61.45% es agua residual.
- En ladera media, el horizonte superficial presenta un contenido de $0.76 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ en pF 0 y el 9.21% se pierde por acción de la gravedad, el 21.05% es agua disponible y el 69.74% es agua residual.

- En ladera alta, el horizonte superficial presenta un contenido de $0.74 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ en pF 0, de este contenido el 12.16% se pierde por acción de la gravedad, el 12.16% es agua disponible y el 75.68% es agua residual.
- En cumbre, el horizonte superficial presenta un contenido de $0.73 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ en pF 0, de este contenido el 10.96% se pierde por gravedad, el 17.81% es agua disponible y 71.23% resulta ser agua residual.

Analizando lo descrito anteriormente podemos decir que los horizontes superficiales de fondo de valle contribuyen significativamente al ciclo hidrológico, esta contribución tiende a disminuir según la posición fisiográfica teniendo en ladera alta y cumbre una menor contribución (Figura 15). Un estudio realizado en el sur del Ecuador en Andosoles a través de sensores de TDR se determinó que la humedad está normalmente en un rango entre 70 a 80% y que durante los 9 meses de monitoreo no se obtuvo humedades menores al 65% (Borja, et al., 2008b). Por lo tanto es necesario realizar un monitoreo anual de los contenidos de humedad en los suelos según la posición fisiográfica para llegar a entender mejor el comportamiento hidrológico de los suelos.

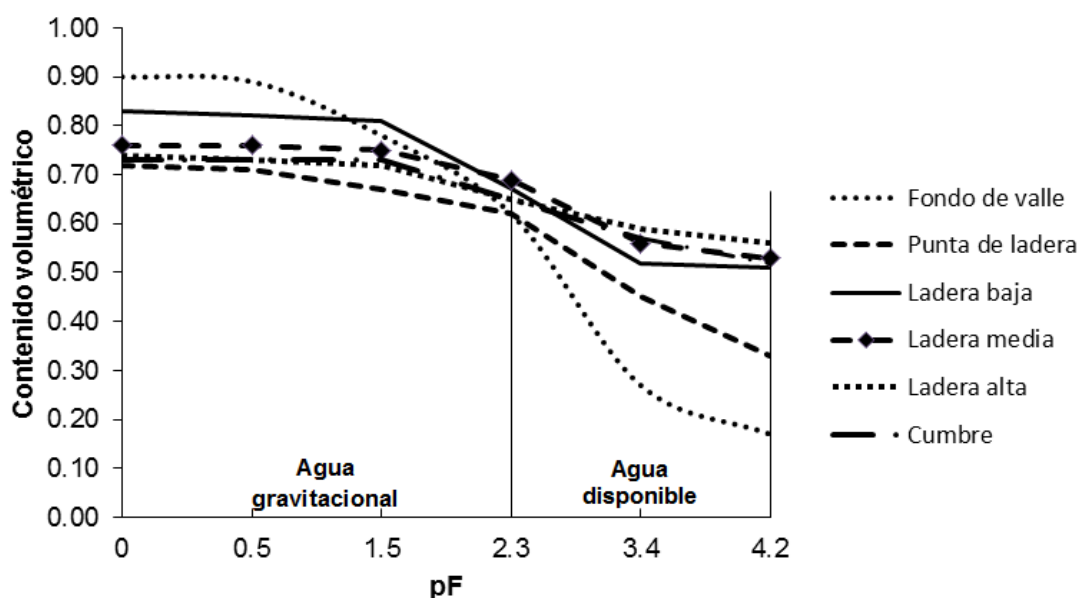


Figura 24. Curva de retención de humedad de los horizontes superficiales de los suelos según la posición fisiográfica.

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014



6.3.4. Efectos de la posición fisiográfica sobre los contenidos de materia orgánica de los horizontes superficiales

Los contenidos de materia orgánica se ven afectados por la posición fisiográfica dado a que en el test de Krukal – Wallis se obtuvo un valor p de 0.003 (Tabla 9). En la Figura 25 y Tabla 16 se aprecia que en fondo de valle existe un mayor contenido de materia orgánica con un 84.77%, y mediante el test de U de Mann – Whitney se determinó que esta presenta diferencias significativas con punta de ladera ($A-B= 0.00008$), ladera baja ($A-C= 0.004$), ladera media ($A-D= 0.00005$), ladera alta ($A-E= 0.00008$), y cumbre ($A-F= 0.0007$) (Tabla 17) que presentan contenidos de 56.18, 61.01, 55.59 y 61.80% respectivamente. Estas diferencias se deben a que en fondo de valle existe una acumulación de materia orgánica, y según Llambí et al., (2012) y Porta et al., (2003) la acumulación de materia orgánica se atribuye a las condiciones de humedad y el tipo de cobertura vegetal, por lo que es consistente con nuestro estudio dado que en fondo de valle el suelo se caracteriza por estar frecuentemente saturado y se desarrolla una vegetación predominante de musgo y almohadilla que aportan una cantidad significativa de materia orgánica. Por otra parte, los contenidos de materia orgánica de punta de ladera, ladera baja, ladera media, ladera alta y cumbre no difieren significativamente entre ellas puesto a que se obtienen valores p mayores a 0.05 (Tabla 17), esto se debe a que provienen del mismo material parental (ceniza volcánica) y a la cobertura predominante de tipo pajonal. Por otra parte un estudio realizado por Siguenza y Tenecora (2008) reportan contenidos altos de materia orgánica (92.77%) lo que es consistente con los resultados obtenidos sin embargo un estudio realizado por Borja et al., (2008) reportan menores contenidos de materia orgánica en comparación con nuestros estudios por lo que se recomienda hacer estudios de comparación de métodos.

Tabla 16. Mediana y mínima – máxima de los contenidos de materia orgánica según la posición fisiográfica

Posición	% MO
A	84.77 76.21 – 89.09
B	56.18 20.60 – 93.45
C	61.01 51.78 – 62.20
D	55.59 35.94 – 66.82
E	57.79 21.90 – 67.17
F	39.58 25.24 – 61.80

A: Fondo de valle; B: Punta de ladera; C: Ladera baja; D: Ladera media; E: Ladera alta; F: Cumbre, MO: Materia orgánica.
Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

Tabla 17. Resultados del test de U de Mann-Whitney de los contenidos de materia orgánica de los horizontes superficiales según la posición fisiográfica

Comparación	Nivel de significancia
A-B	0.00008***
A-C	0.004 **
A-D	0.00005***
A-E	0.00008***
A-F	0.0007***
B-C	0.91 ^{NS}
B-D	0.95 ^{NS}
B-E	1.00 ^{NS}
B-F	0.79 ^{NS}
C-D	0.64 ^{NS}
C-E	0.71 ^{NS}
C-F	0.11 ^{NS}
D-E	0.78 ^{NS}
D-F	0.26 ^{NS}
E-F	0.38 ^{NS}

A: Fondo de valle; B: Punta de ladera; C: Ladera baja; D: Ladera media; E: Ladera alta; F: Cumbre, Med: Mediana, MO: Materia orgánica, ^{NS}: No significativo, *: Significativo, **: Muy significativo, ***: Altamente significativo.
Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

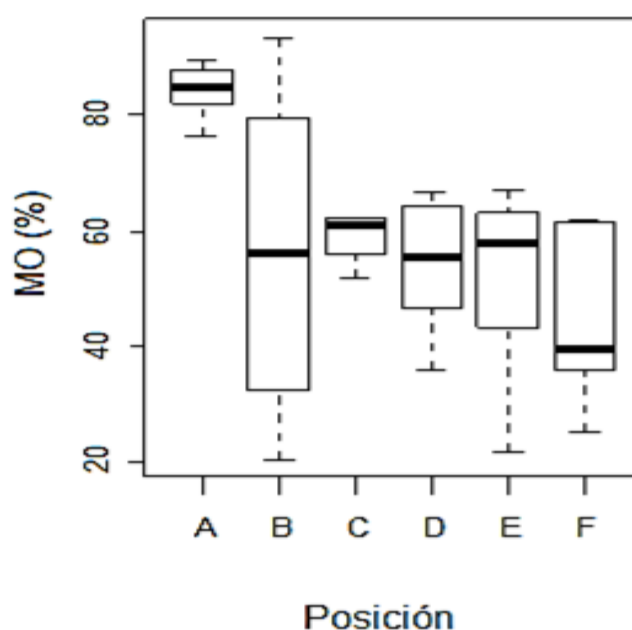


Figura 25. Contenidos de materia orgánica según la posición fisiográfica.
A: Fondo de valle; B: Punta de ladera; C: Ladera baja; D: Ladera media; E: Ladera alta; F: Cumbre, MO: Materia orgánica.
Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014

En la Figura 26 y Tabla 18 se observa que la materia orgánica presenta correlaciones importantes con la densidad aparente y contenidos de humedad en pF 0, pF 0.5 y pF 1.5. La correlación existente entre densidad aparente es de -0.87, lo que nos indica una relación inversamente proporcional y que estadísticamente es significativo (Anexo 2). Esto significa que a mayor contenido de materia orgánica la densidad aparente tiende a disminuir significativamente como se aprecia en la Figura 26.

En cuanto a los contenidos de humedad en pF 0, pF 0.5 y pF 1.5 presentan relaciones directamente proporcionales con la materia orgánica presentando un factor de correlación de 0.76, 0.75 y 0.50 respectivamente (Tabla 18), estas relaciones resultan ser muy significativas (Anexo 2). Esto nos da a entender que al incrementar el contenido de materia orgánica en el horizonte superficial existe un incremento significativo del contenido de humedad en pF 0, pF 0.5 y pF 1.5 (Figura 26).

Tabla 18. Valores de correlación de la materia orgánica con las propiedades hidrofísicas de los horizontes superficiales

Propiedades hidrofísicas	MO
Ksat	0.15
DA	-0.87
pF 0	0.76
pF 0.5	0.75
pF 1.5	0.50
pF 2.3	0.07
pF 3.4	-0.37
pF 4.2	-0.25

Ksat: Conductividad hidráulica saturada, DA: Densidad aparente, pF 0: Contenido de humedad en pF 0, pF 0.5: Contenido de humedad en pF 0.5, pF 2.3: Contenido de humedad en pF 2.3, pF 3.4: Contenido de humedad en pF 3.4, pF 4.2: Contenido de humedad en pF 4.2.

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

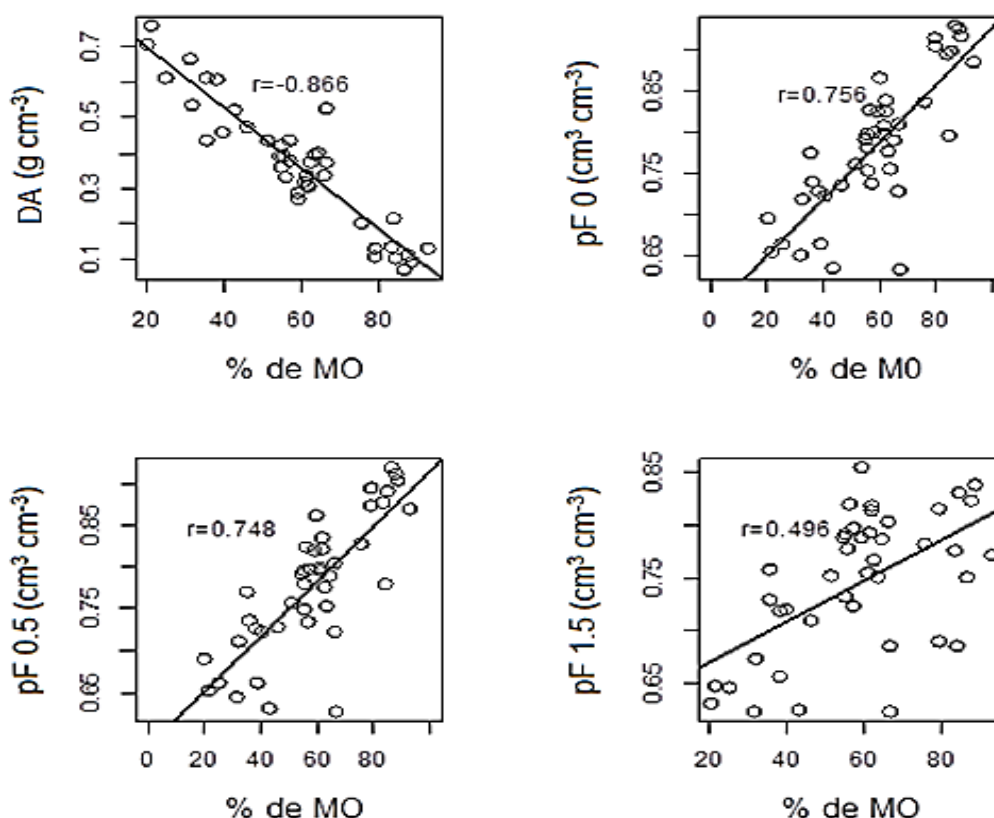


Figura 26. Correlaciones entre materia orgánica con densidad aparente, contenidos de humedad en pF 0, pF 0.5 y pF 1.5.

DA: Densidad aparente, pF 0: Contenido de humedad en pF 0, pF 0.5: Contenido de humedad en pF 0.5, pF 1.5: Contenido de humedad en pF 1.5

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- De acuerdo con los resultados obtenidos y expuestos, aceptamos la hipótesis alternativa de estudio, que las propiedades hidrofísicas están fuertemente influenciadas por la posición fisiográfica en la zona de estudio.
- El desarrollo y la profundidad de los suelos se ven afectados por la posición fisiográfica, encontrando suelos con mayor desarrollo y profundidad en las posiciones bajas como fondo de valle y punta de ladera a diferencia de los suelos en ladera que son poco profundos.
- Se concluye que la posición fisiográfica influye en la distribución del tipo de suelos ya que en posiciones de ladera baja, ladera media, ladera alta y cumbre se encuentran suelos de origen volcánico (Andosoles) a diferencia de posiciones como fondo de valle que se encuentran suelos formados por la acumulación de materia orgánica (Histosoles) y en suelos de punta de ladera se ve una distribución de Andosoles e Histosoles debido a la acumulación de material de tipo mineral y/u orgánico.
- El efecto de la posición fisiográfica es significativo en la mayoría de las propiedades hidrofísicas de los horizontes superficiales.
- La densidad aparente de los horizontes superficiales se ve afectada por la posición fisiográfica, teniendo densidades bajas en fondo de valle, esta tiende a incrementar hacia ladera alta y cumbre. Además esta propiedad presenta una relación con los contenidos de humedad en pF 0, pF 0.5 y pF 1.5.
- El volumen de agua gravitacional y disponible en los suelos de páramo se ve afectada por la posición fisiográfica encontrando un mayor volumen de agua en los horizontes superficiales de fondo de valle y punta de ladera debido a su alta capacidad de retención en pF

0 y una baja retención en pF 4.2 a diferencia de los suelos de ladera media, ladera alta y cumbre que se caracterizan por tener una menor disponibilidad de agua debido a su alta capacidad de retención tanto en pF 0 y pF 4.2.

- La conductividad hidráulica saturada y el espesor de los horizontes superficiales no se ven afectadas por la posición fisiográfica.
- La materia orgánica está fuertemente influenciada por la posición fisiográfica teniendo en fondo de valle una alta acumulación de materia orgánica en los horizontes superficiales a diferencia de los horizontes superficiales de punta de ladera, ladera baja, ladera media y cumbre que su contenido es menor. Además esta propiedad mantiene una relación alta entre algunas propiedades hidrofísicas como densidad aparente y contenidos de humeado en pF 0, pF 0.5 y pF 1.5.

7.2. Recomendaciones

- Es importante realizar estudios de las propiedades químicas de los suelos según la posición fisiográfica para entender los procesos químicos y determinar las relaciones que existe con las propiedades hidrofísicas.
- Monitorear los contenidos de humedad de los suelos de páramo según la posición fisiográfica para llegar a entender mejor su funcionamiento hidrológico en el páramo.
- Debido a la gran importancia que tiene la materia orgánica en los suelos de páramo, es necesario analizar y cuantificar el incremento de la materia orgánica como también carbono y nitrógeno, en estos suelos, según la posición fisiográfica.
- Identificar y cuantificar las plantas que aportan cantidades significativas de materia orgánica a los suelos de páramo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J., Fernández, J., Dorronsoro, C., Stoops, G., & Dorronsoro, B. (2001). Hidromorfía en Suelos. Retrieved November 21, 2013.
- Bièvre, B. (2008). Las amenazas a los servicios ambientales hídricos que provee el páramo. *Panorama y perspectivas sobre la gestión ambiental de los ecosistemas de páramo*.
- Bievre, B., Iñiguez, V., & Buytaert, W. (2006). Hidrología del páramo. Páramo.
- Borja, P., & Garrido, J. (2003). *Análisis de las características hidrofísicas de los Andosoles y la Influencia del uso del suelo en su capacidad de retención de Agua*. (Pregrado). Universidad de Cuenca, Facultad de Agronomía, Cuenca - Ecuador.
- Borja, P. (2008). *Desarrollo de funciones de Edafo-Transferencia para la caracterización hidráulica de Andosoles*. (Maestría). Universidad de Cuenca, Cuenca - Ecuador.
- Borja, P., Iñigues, V., Crespo, P., Cisneros, P., & Cisneros, F. (2008). *Características Físico-Químicas de Histosoles y Andosoles de los páramos de Quimsacocha, Ecuador*. Presentado en el XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Quito.
- Borja, P., Iñiguez, V., Crespo, P., Cisneros, P., Cisneros, F., & Feyen, J. (2008). *Caracterización hidráulica de los Andosoles y Histosoles del Austro Ecuatoriano*. Presentado en el XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Quito.
- Buytaert, W., Bièvre, B. D., Wyseure, G., & Deckers, J. (2005). The effect of land use changes on the hydrological behaviour of Histic Andosols in south Ecuador. *Hydrological Processes*, 19, 3985–3997.



- Buytaert, W., Deckers, J., Dercon, G., Bièvre, B. D., Poesen, J., & Govers, G. (2002). Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in South Ecuador. *Soil Use and Management*, 18, 94 –100.
- Buytaert, W., Sevink, J., Leeuw, B. D., & Deckers, J. (2005). Clay mineralogy of the soils in the south Ecuadorian páramo region. *Geoderma*, 127, 114 –129.
- Buytaert, W. (2004). *The properties of the soils of the south Ecuadorian páramo and the impact of land use changes on their hydrology* (Doctoral). Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, Katholieke Universiteit Leuven, Bélgica.
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bievre, B., & Cisneros, F. (2006). Hidrología del páramo andino: Propiedades, importancia y vulnerabilidad.
- Cajamarca, J., & Tenorio, G. (2009). Estudio geomorfológico y de suelos de páramo de Quimsacocha (Tesis de Pregrado). Universidad de Cuenca, Facultad de Agronomía, Cuenca - Ecuador.
- Cárdenas, F., Cleef, A., Cortés, A., Erwin, K., Flórez, A., Gonzáles, F., Iriarte, P., Lowy, P., Molano, J., Rangel., O., Reyes, P., (1996). *El páramo: un ecosistema de alta montaña*. Boyacá, Colombia: Fundación Ecosistemas Andinos; Gobernación de Boyacá; Santafé de Bogotá.
- Cisneros, P., Cajamarca, J., & Pacheco, E. (2010). Estudios para establecer la línea base de suelos inalterados en el páramo de Quimsacocha.
- Collantes, M., & Faggi, A. (1999). Los humedales del sur de Sudamérica. Buenos Aires, Argentina. 15–25.
- Cortés, A. (1994). Los Suelos de Páramo: Reguladores del Recurso Hídrico en Boyacá.



- Crespo, P., Célleri, R., Buytaert, W., Feyen, J., Iñiguez, V., Borja, P., & De Bievre, B. (2010). Land use change impacts on the hydrology of wet Andean páramo ecosystems. *IAHS-AISH Publication*, 71–76.
- Dorronsoro, C. (2010). Introducción a la Edafología. Universidad de Granada, España.
- FAO. (2006). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. Roma – Italia.
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma – Italia.
- FAO/ISRIC/ISSS. (1998). *World Reference Base for Soil Resources*. Rome: FAO.
- Farnham, R., & Finney, H. (1965). *Classification and properties of organic soils*. *Advances in Agronomy* 17: 115- 162.
- Gabriels, D., Lobo, D., & Pulido, M. (2011). Métodos para determinar la conductividad hidráulica saturada y no saturada de los suelos. *Venesuelos*, 14(1), 7–22.
- Gavilanes, M., & Landi, E. (2012). *Efectos del cambio de uso de la tierra sobre las propiedades físicas y químicas en la Microcuenca del río Zhuruca* (Tesis de Pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca - Ecuador.
- Hofstede, R. (1997). La importancia hídrica del páramo y aspectos de su manejo. Quito – Ecuador: EcoPar.
- Hofstede, R., Segarra, P., & Mena, P. V. (2003). *Los Páramos del Mundo*. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/EcoCiencia, Quito.
- Hofstede, R, Coppus, R., Vásconez, M., Segarra, P., Wolf, J., & Sevink, J. (2002). El estado de conservación de los páramos de pajonal en el Ecuador. *Ecotropicos*, 15(1), 3–18.



Hofstede, R., & Mena, P. (2000). Los beneficios escondidos del páramo: servicios ecológicos e impacto humano.

Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Eguez, A., Peterson, D., & Hammer, C. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth-Science Reviews*, 57, 75–124.

IGAC, I. G. A. C. (2000). Estudio General de suelos y zonificación de tierras. Colombia.

Iñiguez, V. (2003). *Balance hídrico de Microcuencas de páramo* (Tesis de grado). Universidad de Cuenca, Cuenca - Ecuador.

Iñiguez, V., Borja, P., Crespo, P., & Cisneros, F. (2008). Importancia de la hidropedología en la determinación de procesos hidrológicos a escala de ladera en zonas de páramo. En *de XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Quito*.

Izco, J., Pulgar, A., Aguirre, Z., & Santin, F. (2007). Estudio florístico de los páramos de pajonal meridionales de Ecuador. *Revista Peruana de Biología*, 14, 237 – 246.

Jantz, N., & Behling, H. (2012). A Holocene environmental record reflecting vegetation, climate, and fire variability at the Páramo of Quimsacocha, southwestern Ecuadorian Andes. *Vegetation History and Archaeobotany*, 21(3), 169–185.

Jaramillo, D. (2002). *Introducción al a ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

Jenny, H. (1941). Factors of Soil Formation. *Soil Science*, 52(5), 415.

Josse, C., Mena, P., & Medina, G. (2000). La Biodiversidad de los Páramos.



- La Manna, L., Buduba, C., Alonso, V., Davel, M., Puentes, C., & Irisarri, J. (2007). Comparación de métodos analíticos para la determinación de materia orgánica en suelos de la región Andino-Patagónica: efectos de la vegetación y el tipo de suelo. *Ciencia Del Suelo*, 25, 179–188.
- Laverde, C. (2008). *Servicios ecosistémicos que provee el páramo de la cuenca alta del río Teusacá: Percepción de los actores campesinos y su relación con los planes ambientales en la vereda Vergón Alto, Bogota D.C.* (Tesis de grado). Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
- Llambí, L., Soto A., Celleri, R., De Bievre, B., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). Ecología, hidrología y suelos de páramos. *Proyecto Páramo andino*. Monsalve Moreno.
- Luteyn, J. L. (1992). Páramos: why study them? In H. Balslev & J. L. Luteyn (Eds.), *Páramo: an Andean ecosystem under human influence* (pp. 1–14). Academic Press London.
- Mena, P., & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. Quito – Ecuador: EcoCiencia.
- Mena, P., & Medina, G. (2001). La biodiversidad de los páramos en el Ecuador. *Los páramos de Ecuador. Particularidades, problemas y perspectivas*,. Editorial Abya Yala, Quito, 27–52.
- Molinillo, M., & Monasterio, M. (2002). Patrones de vegetación y pastoreo en ambientes de páramo. *Ecotropicos*, 15(1), 19–34.
- Nanzzyo, M. (2002). Unique properties of volcanic ash soils. *Global Environmental Research*, 6, 99–112.
- Nanzzyo, M., Shoji, S., & Dahlgren, R. (1993). *Volcanic Ash Soils: genesis, properties and utilisation. Developments in Soil Science*. Elsevier, Amsterdam.



- Oosterbann, J., & Nijland, J. (1994). Drainage Principales and Application. In *Drainage Principles and Applications* (Seguda., p. 38). Wageningen. Retrieved from
- Ortiz, M., González, J., & López, T. (2005). Páramos: hidrosistemas sensibles. *Revista de Ingeniería*, (22), 64–75.
- Padrón R., (2013). *Análisis de la estructura de la lluvia del páramo* (Tesis de Pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca - Ecuador.
- Perrin, J. L., & Poulenard, J. (2001). Hydraulic properties of recent volcanic ash soils from the high slopes of the Rucu Pichincha volcano (Quito, Ecuador). In F. Vuilleumier & M. Monasterio (Eds.), *Proceedings of the international symposium on soil structure, water and solute transport, 8-10 Octobre, 2001. Bondy, France*. (pp. 44–45). IRD, Paris.
- Podwojewski, P., Janeau, J. L., & Leroux, Y. (2007). Effects of agricultural practices on the hydrodynamics of a deep tilled hardened volcanic ash–soil (Cangahua) in Ecuador. *Catena*, doi:10.1016/j.catena.2007.05.003.
- Podwojewski, P. (1999). Los suelos de las altas tierras andinas : los páramos del Ecuador. *Boletín informativo - Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo*.
- Podwojewski, P., & Poulenard, J. (2000). Los suelos de los páramos del Ecuador. *Quito*, 5 (Serie Páramo 5.).
- Podwojewski, P., & Poulenard, J. (2004). Paramos Soils. In *Encyclopedia of Soil Science*. Dekker.
- Porta, J., López, M., & Roquero del Loburu, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid – España: Mundi Prensa.



- Poulenard, J., Podwojewski, P., Janeau, L., & Collinet, J. (2001). Runoff and soil erosion under rainfall simulation of andisols from the Ecuadorian páramo: effect of tillage and burning. *Catena*, 45, 185–207.
- Pulido, R. (1988). Génesis y evolución de los suelos de los páramos de Sumapaz, Chingaza y Guerrero. Colombia: Suelos Ecuatoriales.
- Quichimbo, P., Cárdenas, I., Tenório, G., Crespo, P., Borja, P., & Celleri, R. (2011). Efecto del cambio de cobertura vegetal sobre las propiedades hidrofísicas del suelo en un área de páramo, sur del Ecuador. *red cyted* 411rto430.
- R Developement Core. (2005). *R: A language and environment for statistical computing*. ISBN 3-900051-07-0. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2013. url: <http://www.R-project.org>.
- Recharte, J., Albán, L., Arévalo, R., Flores, E., Huerta, L., Orellana, M., Sánchez, P. (2003). El Grupo Páramos Jalcas y Punas del Perú. Instituciones y Acciones en Beneficio de Comunidades y Ecosistemas Altoandinos. In *Memorias del Congreso Mundial de Páramos (Mayo de 2002)* (Vol. 2).
- Roig, C., & Roig, F. A. (2004). Consideraciones generales. *Los Turbales de La Patagonia Bases Para Su Inventario y La Conservación de Su Biodiversidad, Publicación*, (19), 5–21.
- Schumacher, B. A. (2002). Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. *National ESD, Ed.: EPA*.
- Shoji, S., Dahlgren, R., & Nanzyo, M. (1993). Chapter 2 Morphology of Volcanic Ash Soils. In M. N. Sadao Shoji & R. Dahlgren (Eds.), *Volcanic Ash Soils Genesis, Properties and Utilization* (Vol. 21, pp. 7 – 35). Elsevier. Retrieved.
- Sigüenza, J., & Tenecora, J. (2008). Caracterización hidrofísicas de los Histosoles en el páramo de Quimsacocha de la parroquia Baños



(Pregrado). Universidad de Cuenca, Facultad de Agronomía, Cuenca - Ecuador.

Topp, G. C., & Zebchuk, W. (1979). The determination of soil-water desorption curves for soil cores. *Canadian Journal of Soil Science*, 59(1), 19 – 26. doi:10.4141/cjss79-003

USDA, N. (1996). Soil survey laboratory methods manual. *Soil Survey Investigations Report*, 42.

USDA, & NRCS. (2004). *Soil survey laboratory methods manual*. United States.



9. ANEXOS

Anexo 1. Mediana y mínima – máxima de los Valores de la profundidad de los perfiles de cada posición fisiográfica

Posición	Unidad	Prof (cm)
A	cm	162.50 94 – 200
B	cm	96 43 – 175
C	Cm	72 34 – 123
D	Cm	59 36 – 93
E	Cm	41 23 – 73
F	Cm	51.50 24–74

A: Fondo de valle; **B:** Punta de ladera; **C:** Ladera baja; **D:** Ladera media; **E:** Ladera alta; **F:** Cumbre, **Prof:** Profundidad (cm).

Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.

Anexo 2. Tabla de valores p de las correlaciones de las propiedades de los horizontes superficiales

	Esp	Ksat	MO	DA	pF 0	pF 0.5	pF 1.5	pF 2.3	pF 3.4
Esp									
Ksat	0.44								
MO	0.89	0.37							
DA	0.52	0.07	2.59E-13						
pF 0	0.66	0.15	7.11E-09	2.20E-16					
pF 0.5	0.61	0.12	1.25E-07	2.20E-16	2.20E-16				
pF 1.5	0.88	0.05	0.0008	1.38E-06	3.07E-10	9.11E-11			
pF 2.3	0.73	0.87	0.71	0.62	0.33	0.28	1.20E-03		
pF 3.4	0.39	0.60	0.040	0.01	0.06	0.08	0.48	2.72E-06	
pF 4.2	0.99	0.74	0.16	0.005	0.007	0.001	0.64	0.002	2.20E-16

Esp: Espesor, **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada, **DA:** Densidad aparente, **pF 0:** Contenido de humedad en pF 0, **pF 0.5:** Contenido de humedad en pF 0.5, **pF 2.3:** Contenido de humedad en pF 2.3, **pF 3.4:** Contenido de humedad en pF 3.4, **pF 4.2:** Contenido de humedad en pF 4.2, **MO:** Contenido de materia orgánica, **p:** valor de p.
Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014.



Anexo 3: Descripción del perfil

Es necesario disponer de información confiable sobre las propiedades de los suelos del área de estudio para ello se realiza una descripción básica y fundamental del sitio y del perfil del suelo. Esto nos ayuda a entender mejor los procesos que se dan en los suelos y explicar sus propiedades hidrofísicas.

Materiales:

- Barreno
- Barreta
- Chuchillo edafológico
- Cinta métrica
- Fichas de campo
- Guía para la descripción de perfiles de la FAO
- Mapa de la zona de estudio
- Lápiz
- Pala

Equipos:

- Cámara
- Clinómetro
- GPS

Metodología:

Antes de la descripción de los perfiles, se realizó una descripción general de la ubicación del sitio (puntos GPS), número del sitio, autor, elevación, fecha de descripción, forma del relieve, posición fisiográfica, pendiente, presencia de erosión, cobertura vegetal y uso del suelo. Se procedió a realizar una calicata, se limpió las paredes para determinar los límites de horizontes y el número de horizontes. Posteriormente se describió y registró en la ficha de campo de cada horizonte su color, textura, estructura, presencia de fragmentos rocosos y presencia de raíces (Figura 27). Finalmente se elaboró

un código por horizonte, el mismo que fue utilizado para codificar las muestras alteradas e inalteradas.



Figura 27. Descripción del perfil
Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

Anexo 4: Toma de muestras alteradas e inalteradas

En el campo no se puede obtener toda la información necesaria para poder caracterizar los suelos por lo tanto es necesario tomar muestras de horizontes descritos y llevarlas a un laboratorio donde se puede medir sus características, un claro ejemplo es la densidad aparente, contenidos de humedad y materia orgánica.

Materiales:

- Anillos de Kopecky
- Barreta
- Caja de muestras para anillos
- Caja edafológica
- Cierra
- Cinta masqui
- Cuchillo
- Etiquetas
- Ficha de campo



- Franela
- Fundas plásticas para anillos y para recolección de muestras alteradas.
- Libreta de campo
- Martillo
- Pala
- Tapas para anillos
- Toma muestras de kopecky

Equipos:

- Cámara
- GPS

Metodología:

Muestra Inalterada.- Se retiró con una pala la cobertura vegetal seguidamente se preparó el toma muestras antes de colocar el anillo se frotó con vaselina en el área biselada para evitar fricción entre el anillo y la cabeza del toma muestra, se coloca el anillo Kopecky de 100 cm³. Con la ayuda del martillo se introdujo el toma muestras en el horizonte, cuando el nivel de referencia de la cabeza del anillo tuvo contacto con el nivel del horizonte se procedió a levantar lentamente el toma muestras, y se extrajo el anillo con mucho cuidado tratando de no estropear la muestra, con la ayuda de una cierra se niveló la esta hasta el borde del anillo para evitar cierre de poros y compactación durante el tapado de la muestra (Figura 28). En caso de precencias de raices estas deben ser cortadas con un alicate a nivel de los bordes del anillo para facilitar el tapado y su análisis, si estas son grandes o si existe precencia de piedras es necesario volver a tomar la muestra. Finalmente las muestras fueron tapadas y codificadas con su respectivo código.



Figura 28. Toma de muestras inalteradas
Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

Muestra Alterada.- con una pala se retiró la cobertura vegetal, se extrajo la parte superior del suelo hasta llegar al horizonte de muestreo, por cada horizonte se tomó 2 kg de muestra que luego fueron colocadas en unas bolsas plásticas, finalmente se codificó las muestras con la información obtenida en la descripción del sitio y del horizonte. Las muestras alteradas como las inalteradas fueron trasladadas al laboratorio de suelos para sus respectivos análisis.

Anexo 5: Conductividad hidráulica saturada

La conductividad hidráulica saturada de los suelos de páramo es una de las propiedades hidrofísicas importantes, debido a que el suelo es un medio poroso donde existe un movimiento de agua y depende mucho de la estructura, textura, porosidad, contenido de materia orgánica, etc. A través de esta propiedad podemos conocer la velocidad del agua en el suelo cuando está saturado y conocer su comportamiento durante épocas de lluvia.

Existen muchos métodos de campo y laboratorio para determinar la conductividad hidráulica saturada, pero en nuestro estudio se utilizó el método de pozo y pozo invertido.



Materiales:

- Alicate
- Barreno
- Bidón
- Caja edafológica
- Cepillo
- Cierra
- Cinta métrica
- Espátula edafológica
- Ficha de campo
- Flexómetro
- Flotadores
- Libreta de campo
- Soportes metálicos
- Succionador

Equipos:

- Cronómetro

Metodología:

Método de pozo invertido.- Es un método de campo simple, que se utiliza para determinar la conductividad hidráulica saturada de un suelo o de un horizonte que esté por encima del nivel freático, la ventaja de este método es que toma poco tiempo, y además es usado para determinar la permeabilidad del agua de un suelo. En nuestro estudio se realizó tres repeticiones por horizonte muestreado.

El proceso a seguir es el siguiente:

- Con un barreno se cavó un pozo de diámetro conocido hasta la mitad de la profundidad del horizonte. Con un alicate se eliminó las raíces y con un cepillo se limpió las paredes del pozo.

- Se colocó los flotadores con la cinta métrica con los soportes y se realizó las siguientes lecturas: radio del agujero (r), lectura de fondo y lectura de superficie, todas las lecturas se las realizó en cm (Figura 29).
- Se saturó el pozo con agua. En los horizontes subsuperficiales se debe saturar solo el horizonte en estudio y también se deben tomar las lecturas solo de este horizonte.
- Posteriormente se colocó el flotador y se procedió a tomar las lecturas en el punto de referencia de acuerdo a un tiempo (sg) dependiendo de la velocidad de descenso del agua en el pozo.

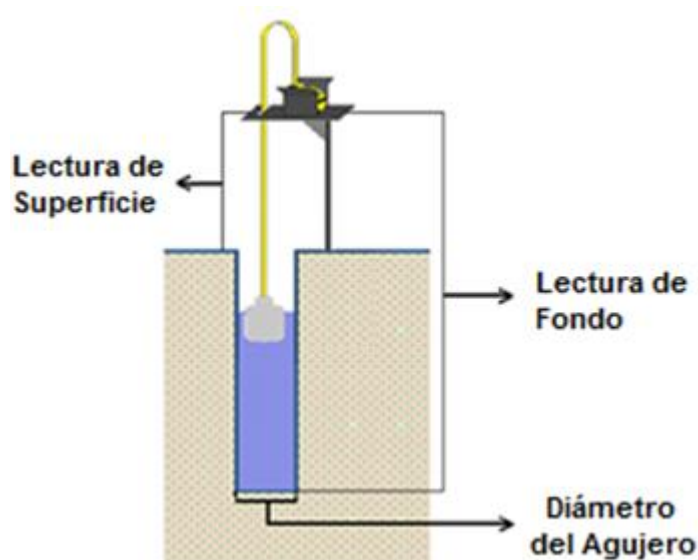


Figura 29. Prueba de pozo invertido
Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014

- La medición se concluyó cuando el descenso de agua en el pozo es constate.
- Con los datos obtenidos de $\log(h+0.5r)$ y el tiempo se realizó una gráfica.



Cálculos.- Cuando la tasa de infiltración (v) llega a ser más o menos constante. La infiltración total Q llegaría a ser igual a $v \times A$ (donde A es el área de infiltración)

- Con $v = K$, donde se obtiene:
- $Q = K \times A$

Para el método de pozo invertido, la infiltración ocurre tanto en el fondo del pozo y en las paredes del pozo (Figura 30) por lo tanto tenemos $A = \pi r^2 + 2\pi r h$ (donde r es el radio del pozo y h es la altura de la columna de agua en el pozo), de esta manera podemos decir que:

$$Q = 2\pi K r (h + 0.5r)$$

$$Q = 2\pi r^2 dh/dt$$

Eliminando Q en las dos expresiones tenemos:

$$2K(h + 0.5r) = \frac{rdh}{dt}$$

Sobre la integración y configuración, obtenemos que:

$$K = 1.15r \frac{\log(h_0 + 0.5r) - \log(h_t + 0.5r)}{t - t_0}$$

Dónde:

- ✓ t = Es el tiempo desde que se comienza la lectura (s)
- ✓ h_t = es la altura de la columna de agua en el pozo en el tiempo t (cm)
- ✓ h_0 = h_t en el tiempo inicial o ($t = 0$)

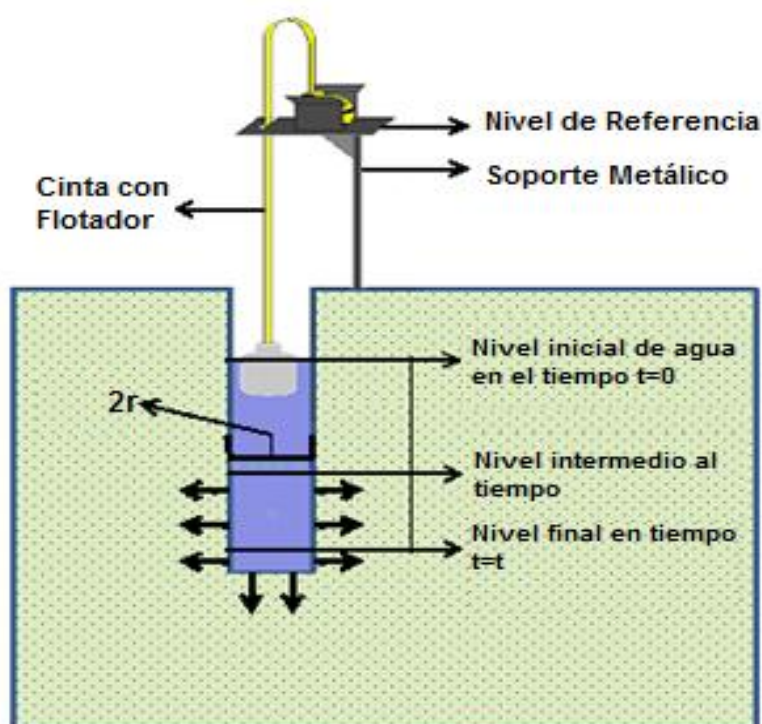


Figura 30. Descripción de las lecturas de la prueba de pozo invertido
Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014

Los valores de h_t son obtenidos de:

$$h_t = D' - H_t$$

Dónde:

- ✓ D' = La profundidad del hoyo bajo el nivel de referencia (cm)
- ✓ H_t = la profundidad del nivel de agua en el agujero bajo el nivel de referencia (cm).

Cuando H y t son medidas en intervalos apropiados, K puede ser calculado.

$$K = 1.15r \tan \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{\log(h_0 + 0.5r) - \log(h_t + 0.5r)}{t - t_0}$$

$$\tan \alpha = s$$

Entonces

$$K = 1.15rs$$



Método de pozo.- Este método consiste en realizar un pozo en el suelo donde existe una capa freática próxima a la superficie del suelo (Histosoles).

- En el horizonte de estudio se realizó un pozo con un radio de 5cm a una profundidad mínima de 20 cm bajo el nivel freático.
- Se eliminó las raíces de las paredes del pozo para evitar rozamiento con el flotador y con un cepillo se limpió las paredes del pozo.
- Para tomar las lecturas es necesario conocer la altura del agua freática en el pozo, para esto es necesario que el agua haya llegado al nivel máximo o nivel de equilibrio para poder medir la profundidad del pozo bajo este nivel, el tiempo de equilibrio del agua freática puede ser en poco tiempo o hasta 24 horas.
- Después de que el agua llegó a su nivel de equilibrio y antes de vaciar el agua del pozo, se colocó la estructura metálica con el flotador y se realizó las siguientes lecturas (Figura 31):
 - ✓ **Lectura de fondo.-** Es la distancia desde el nivel de referencia hasta el fondo del pozo.
 - ✓ **Lectura de superficie.-** Altura desde la superficie del suelo hasta el nivel de referencia.
 - ✓ **Nivel freático.-** es la distancia que hay entre el nivel de agua hasta la superficie del suelo.
 - ✓ **Fondo del pozo.-** Es la profundidad del pozo bajo el nivel del agua cuando ha llegado a su equilibrio.
 - ✓ **Lectura del nivel freático.-** Es la distancia desde el nivel de referencia hasta el nivel de agua en su punto de equilibrio.
 - ✓ **Radio del agujero (r)** en cm.
 - ✓ **Estrato impermeable.-** es la profundidad del suelo hasta el estrato u horizonte impermeable (R), se obtiene durante la descripción de perfiles.



- Luego de tomar todas las lecturas, se disminuyó el agua hasta que en el pozo solo quedó entre un 20% a 25% de agua dentro del pozo (h_0), y se colocó el flotador y finalmente se midió la velocidad de ascenso en el punto de referencia.
- Se finalizó las lecturas antes de que el agua supere el 75% del volumen de agua en el pozo.

Cálculos.- Ernst desarrolló la siguiente ecuación para la conductividad hidráulica saturada en el suelo:

$$K = C \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Dónde:

- ✓ K = Conductividad hidráulica saturada del suelo (cm h^{-1}).
- ✓ C = Factor de geometría (sin dimensiones) que depende de la profundidad del pozo bajo el nivel freático y la distancia de la base del pozo hasta el estrato impermeable.
- ✓ $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ = Velocidad de ascenso del nivel de agua en el pozo cm s^{-1} .

El factor C depende de la distancia entre la base del pozo y la capa impermeable:

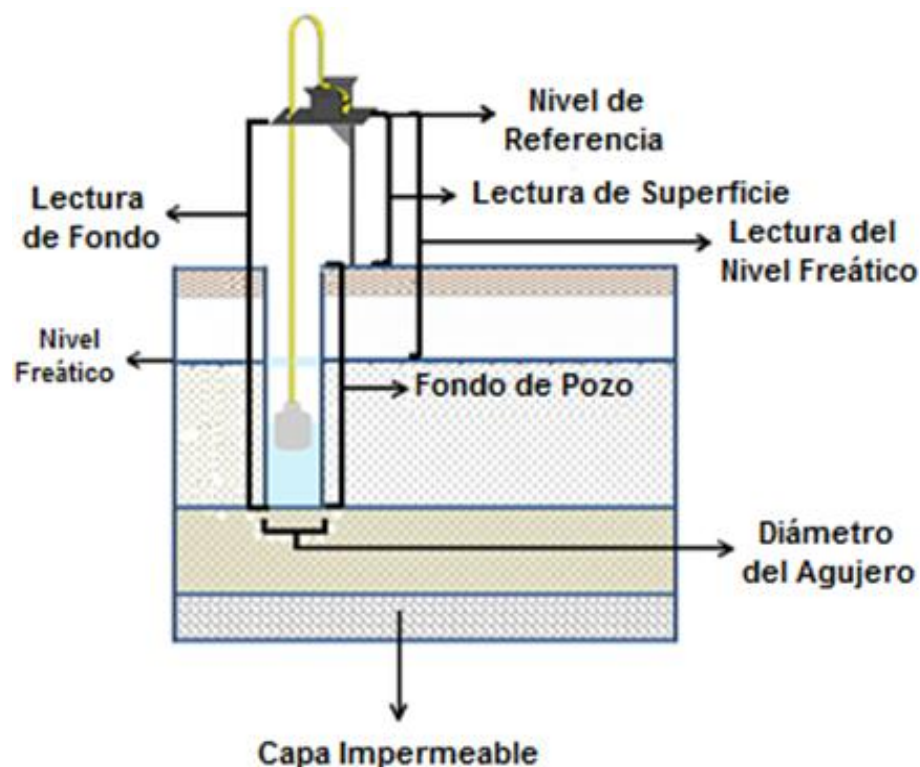


Figura 31. Prueba de pozo
Elaborado por: Aucapiña y Marín, 2014

- ✓ Cuando la profundidad del pozo bajo el nivel freático es menor o igual a la mitad de la distancia entre la capa impermeable y la base del pozo se debe aplicar la siguiente fórmula para determinar C:

Cuando $D > 0.5D_2$, entonces:

$$C = \frac{4000 r/h'}{(20 + D_2/r)(2 - h'/D_2)}$$

- ✓ Cuando el fondo de pozo llega hasta la capa impermeable ($D=0$), entonces:

$$C = \frac{3600 r/h'}{(10 + D_2/r)(2 - h'/D_2)}$$

Dónde:

- ✓ D = distancia entre la base del pozo hasta la capa impermeable (cm)



- ✓ D_2 = Profundidad del pozo bajo el nivel freático en cm, pero este deber ser mayor a 20 cm y no superar los 200 cm.
- ✓ r = radio del agujero en cm, este no debe ser menor a 3 cm y no superar los 7 cm.
- ✓ h' = Promedio de la profundidad del nivel de agua en el agujero bajo el nivel freático en cm, debe cumplir la siguiente condición: $h' > D_2/5$ es decir que debe ser tomadas las lecturas después que el agua se encuentre ocupando un 20% del volumen del pozo.

Anexo 6: Curva de retención de humedad

Es también conocida como curva de humedad del suelo. Es una figura que representa la relación existente entre el potencial total del agua del suelo y el contenido de humedad del mismo, en rangos de tensiones. Esto depende mucho de la textura, contenido de materia orgánica y estructura del suelo.

El agua en el suelo puede moverse en estado líquido y gaseoso, dependiendo de la humedad de este. Cuando el suelo no está saturado ni seco, el agua se mueve en estado líquido, y cuando llega el suelo a tensiones altas como el punto de marchitez se pierde la continuidad en la película de agua y el flujo se produce en forma de vapor.

Materiales:

- Alicate
- Anillos kopecky 100 cc
- Bandeja
- Cierra
- Ficha de laboratorio
- Fundas plásticas
- Papel
- Pincel
- Tamiz de 2 mm

- Tela de nylon
- Toalla
- Vasos plásticos

Equipos:

- Balanza electrónica
- Batidora
- Caja de succión
- Computadora
- Estufa
- Extractores de presión

Metodología:

- Las muestras inalteradas se limpiaron con una franela evitando alterar la muestra.
- Con un alicate se eliminó las raíces que sobresalían en el nivel de la muestra (Figura 32).



Figura 32. Preparación de la muestra inalterada en laboratorio

Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

- Para evitar alteraciones de la muestra durante sus análisis se colocó una tela con una liga y se eliminó las cámaras de aire con un pincel húmedo.

- Se saturó las muestras durante 4 semanas en una bandeja con agua tomando en cuenta que el nivel de agua sea inferior al nivel de las muestras.
- Luego de la saturación, en una balanza de 0.01 g se pesó las muestras antes del pesado se secó las paredes del anillo. Se consideró el peso del anillo, la tela y la liga (Figura 33). Todo estos pesos se utilizaron para la determinación del contenido de humedad en pF 0.



Figura 33. Peso de las muestras
Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

- Una vez pesado los anillos estos fueron llevados a la caja de succión, antes de colocar los anillos en la caja se observó que el nivel del agua de la caja de succión este a 2.5 cm de altura, este nivel se lo denomina nivel cero debido a que no se está ejerciendo ninguna succión. En cada caja de succión tiene una capacidad máxima de 24 anillos Kopecky de 100 cm³ (Figura 34).



Figura 34. Muestras en la caja de succión

Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

- Luego de llenar la caja con las muestras, se tapó la caja y se aplicó una succión de pF 0.5 durante una semana. Luego se procedió al pesaje de las muestras y se anotó sus pesos en el registro del laboratorio. Los pesos obtenidos en este proceso fueron utilizados para determinar el contenido de humedad en pF 0.5.
- Las muestras que fueron pesadas se regresaron a la misma posición de antes en la caja de succión y aplicamos un succión de pF 1.5 durante una semana. Luego del transcurso de la semana procedimos a pesar las muestras y registramos sus pesos. Este proceso corresponde para la determinación del contenido de humedad en pF 1.5.
- Para determinar el contenido de humedad en pF 2.3 se utilizó los extractores de presión. Luego que las muestras fueron pesadas, se retiraron la tela y la liga de cada muestra. Fue necesario registrar el peso de la tela con la liga. Luego las muestras fueron trasladadas a los extractores de presión. El número de muestras que fueron colocadas en cada extractor fue de 24 muestras. Antes de colocar las muestras en cada placa de cerámica, también estas fueron saturadas por 24 horas y se cubrió con una pasta saturada con la finalidad de mejorar el contacto de la placa con las muestras inalteradas. Antes de

color la primera placa porosa en el extractor, fue necesario colocar un pequeño recipiente con agua en el fondo del extractor para mantener una humedad en equilibrio.

- Asegurando que cada placa porosa esté conectada con el tubo de salida y el extractor este bien cerrado se aplicó una presión de 0.2 bares por una semana.



Figura 35. Muestras inalteradas en los extractores
Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

- Luego del transcurso de la semana, las muestras fueron sacadas del extractor y pesadas (Figura 35). Los pesos obtenidos en este proceso fueron utilizados para determinar el contenido de humedad en pF 2.3.
- Finalmente se determinó el peso seco de la muestra, el secado se lo realizó a una temperatura de 105 °C durante 24 horas (Figura 36).



Figura 36. Secado de las muestras inalteradas
Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

- Para determinar el contenido de humedad en pF 3.4 y 4.2, se utilizaron muestras alteradas y estandarizadas con un tamiz de 2 mm excepto en las muestras de horizontes orgánicos. En estas solo se eliminó las raíces.
- Cada muestra se colocó en un vaso donde se añadió agua y se batió hasta tener una pasta homogénea sin grumos y que sea brillante ante la luz. Cada muestra fue codificada respectivamente. Finalmente cada muestra fue tapada para evitar la evaporación del agua y se dejó reposar por 48 horas (Figura 37).



Figura 37. Pasta saturada para determinar el contenido de humedad pF 3.4 y 4.2

Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

- Luego del reposo se procedió a mezclar nuevamente, antes de mezclar se observó si existe exceso de agua sobre la pasta. Si en caso de que existía esta era eliminada.
- Las placas porosas de 5 y 15 bares de los extractores fueron saturadas con agua en una bandeja de plástico durante 24 horas.
- Luego de la saturación, se colocó los anillos de PVC codificados y estos fueron llenados con la pasta tomando en cuenta el código del anillo.
- Al terminó de la colocación de las muestras en cada placa, éstas fueron llevadas en los extractores de presión (Figura 38). Al momento

que se colocó cada placa en el extractor, se conectó la manguera de salida de agua entre el tubo de salida de agua de la placa porosa y el extractor. Para mantener una humedad adecuada fue necesario colocar en los extractores de presión un pequeño recipiente con agua ya sea en el fondo de los extractores en caso de pF 3.4 o en la primera placa para el extractor en pF 4.2.

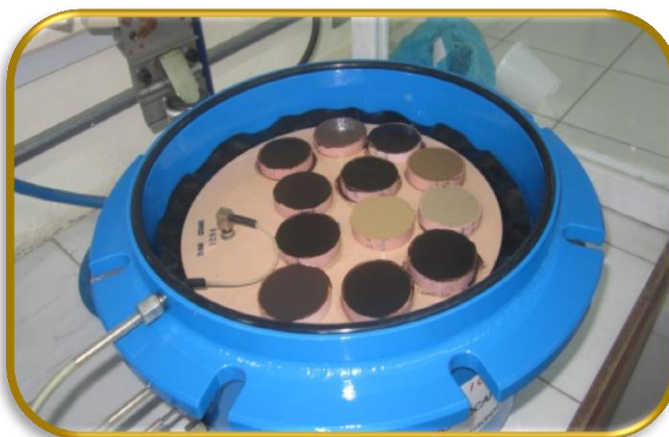


Figura 38. Determinación de contenido de humedad en pF 3.4 y 4.2

Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

- Finalmente se cerró los extractores y aplicó la presión respectiva para pF 3.4 y pF 4.2 durante una semana.
- Luego del transcurso de la semana, éstas fueron sacadas del extractor y colocadas en un papel previamente tarado y se determinó el peso de la muestra.
- Posteriormente las muestras fueron secadas a 105°C durante 24 horas (Figura 39) y pesadas para determinar el peso seco de cada muestra y el peso del anillo. Todos los pesos que fueron registrados según la presión aplicada se utilizaron para determinar los contenidos de humedad en pF 3.4 y 4.2.



Figura 39. Secado de las muestras alteradas

Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

Cálculos:

Para determinar la humedad gravimétrica (HG) de las muestras analizadas se aplicó la siguiente formula:

$$HG = \frac{PHa - PSa}{PSa - Pa}$$

Para determinar el contenido de humedad volumétrica (HV) de las muestras analizadas se aplicó la siguiente formula:

$$HV = \frac{HG \times Da}{Daw}$$

Dónde:

- ✓ PHa: Peso húmedo de la muestra con el anillo.
- ✓ PSa: Peso seco de la muestra con el anillo.
- ✓ Pa: Peso del anillo
- ✓ Da: Densidad aparente del suelo
- ✓ Daw: Densidad del agua = 1 g cm^{-3}



Anexo 7: Densidad aparente

La densidad aparente del suelo es la relación del peso seco y el volumen total, donde se incluye el espacio poroso. Ésta es importante porque a través de ella podemos determinar el contenido volumétrico del agua y determinar la lámina de agua en un suelo.

Materiales:

- Anillos kopecky de 100 cc
- Toma muestras
- Caja edafológica
- Ficha de campo y de laboratorio

Equipos:

- Balanza electrónica
- Estufa

Metodología:

- Durante el proceso de descripción de perfil, se tomaron muestras inalteradas en anillos Kopecky por cada horizonte estudiado.
- Estas fueron llevadas al laboratorio de suelos de Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca, donde fueron registradas al momento de su ingreso.
- Estas muestras fueron secadas en el horno a 105°C durante 24 horas, posteriormente se retiraron las muestras del horno, se dejaron enfriar y se pesó. Además se retiró el suelo del cilindro y se determinó el peso del anillo.
- Finalmente, se calculó la densidad aparente dividiendo el peso de la muestra seca para el volumen del anillo.

Cálculo:
$$Da = \frac{\text{Peso seco de la muestra}}{\text{Volumen del cilindro}}$$



Anexo 8: Contenido de materia orgánica

La materia orgánica es uno de los principales componentes sólidos que posee el suelo y está relacionada con la mayoría de las propiedades físicas y químicas del suelo. Existen varios métodos para determinar el contenido de materia orgánica unos más precisos que otros: método por ignición, por oxidación con dicromato de potasio y por oxidación con peróxido de hidrógeno. Según Jaramillo (2002), encontró diferencias amplias al determinar el contenido de materia orgánica en Andosoles con el método de ignición y el de Walkley y Black, encontrando que el método de ignición tiene la menor variabilidad. En nuestro estudio se utilizó el método de ignición.

Materiales:

- Crisoles
- Etiquetas
- Guantes
- Papel aluminio
- Pinzas
- Ficha de laboratorio

Equipos:

- Balanza electrónica
- Desecador
- Estufa
- Mufla

Metodología:

- Una parte de las muestras alteradas fueron estandarizadas con un tamiz de 2 mm en caso de los suelos minerales, en suelos orgánicos simplemente se eliminó las raíces de las plantas puesto que al ser tamizadas se elimina un porcentaje de materia orgánica dando resultados erróneos en el estudio.

- Las muestras fueron colocadas en un papel aluminio y secadas en un horno a 105°C durante 24 horas.
- Se pesó entre 6 a 10 g de cada muestra y se colocó en un crisol previamente codificado y pesado. Los pesos de las muestras y los crisoles fueron registrados en la ficha de laboratorio.
- Los crisoles con las muestras fueron sometidas a una temperatura de 430°C por 4 horas en una mufla.
- Luego del tiempo de ignición, se procedió a sacar las muestras (Figura 40), dejándolas enfriar en un desecador y se pesó nuevamente (crisol + muestra quemada).



Figura 40. Determinación de la materia orgánica

Fuente: Aucapiña y Marín, 2014

- Se calculó la diferencia de peso entre los pesos antes y después de la ignición, esta diferencia de peso equivale a la cantidad de materia orgánica que se perdió por efecto de la ignición.
- Se expresó la diferencia de peso en porcentaje, con respecto al peso inicial de la muestra.



Cálculo: El porcentaje de materia orgánica es igual al peso perdido en ignición por 100 dividido para el peso de la muestra seca.

Entonces

$$\% \text{ de Materia orgánica} = \frac{a * 100}{b}$$

Dónde:


- ✓ a: Peso perdido de la muestra en la ignición.
- ✓ b: Peso de la muestra antes de la ignición.




Anexo 9: Descripción de los perfiles

a) Descripción de perfiles del transecto 1


SITIO 1		Zh-P-An-T1(1)				
Localización		Laguna ciega – Quimsacocha - Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:	0694662 – 9660751	Altura:	3780 m s.n.m			
Posición fisiográfica:		Cumbre		Pendiente:	2%	
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol	Erosión/tipo:		Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					C	
Horizontes						
H y Prof. (cm)	Pre. Raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color	
Ah	32	Común	Poco (pequeñas)	Granular	Franco	10YR 1.7/1




SITIO 2		Zh-Al-Hi-T1(2)				
Localización		Laguna ciega – Quimsacocha - Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Almohadilla (<i>Xenophyllum humile</i>)				PERFIL 
Punto GPS:	0694813 – 9660849	Altura:	3785 m s.n.m			
Posición fisiográfica:		Fondo de valle		Pendiente:	2%	
Tipo de suelo/horizonte:		Histosol	Erosión/tipo:		Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					C	
Horizontes						
H y Prof. (cm)		Pre. Raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	
H	25	Común	No	Desagregado		10YR 2/2
Ah	35	Muchas	No	Desagregado	Franco limoso	7.5YR 1.7/1
C	40	Muy pocas	No	Desagregado	Franco Arenoso	2.5Y 5/2



SITIO 3		Zh-P-Hi-T1(3)				
Localización:		Laguna ciega – Quimsacocha - Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:	0694952 – 9660939		Altura:	3783 m s.n.m		
Posición fisiográfica:		Fondo de valle		Pendiente:	1%	
Tipo de suelo/horizonte:		Histosol		Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					C	
Horizontes						
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color
H	44	Muchas	No	Desagregado		10YR 2/2
Ah	35	Muchas	No	Desagregado	Franco	10YR 1.7/1




SITIO 4		Zh-Mg-Hi-T1(4)					
Localización:		Laguna ciega – Quimsacocha - Azuay – Ecuador					
Vegetación:		Musgo (<i>Bryophyta</i> sp.)				PERFIL	
Punto GPS:		0695117 – 9661045		Altura:		3788 m s.n.m	
Posición fisiográfica:		Punta de ladera		Pendiente:		3%	
Tipo de suelo/horizonte:		Histosol		Erosión/tipo:		Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):						C	
Horizontes							
H y Prof. (cm)		Pre. Raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color	
H1	50	Muchas	No	Desagregado		10YR 1.7/1	
AH	40	Pocas	No	Desagregado		10YR 1.7/1	
H2	75	Muchas	No	Desagregado		10YR 4/4	





SITIO 5		Zh-P-An-T1(5)				
Localización		Laguna ciega – Quimsacocha - Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:	0695268 – 9661142		Altura:	3813 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Ladera media		Pendiente:	30%	
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol		Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					C	
Horizontes						
H y Prof. (cm)	Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color	
Ah	26	Común	Pocas	Granular	Franco	
					10YR 1.7/1	

A photograph of a soil profile in a field. A vertical color calibration strip is placed against the soil face. The soil is dark brown/black, appears moist, and has a granular texture. Some green grass is visible at the top and bottom of the profile.




SITIO 6		Zh-P-An-T1(6)				
Localización		Cima cerca de la laguna ciega – Quimsacocha - Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:	0695420 – 9661240		Altura:	3861 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Cumbre		Pendiente:	8%	
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol		Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					C	
Horizontes						
H y Prof. (cm)	Pre. Raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color	
Ah	24	Muchas	Media	Granular	Franco	10YR 2/2






SITIO 7		Zh-P-An-T1(7)				
Localización		Cima cerca de la laguna ciega – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:	0695572 – 9661338		Altura:	3848 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Ladera alta		Pendiente:	7%	
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol		Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					C	
Horizontes						
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color
Ah	23	Muchas	Media	Granular	Franco	10YR 2/2




SITIO 8		Zh-P-An-T1(8)				
Localización:		Subida a laguna ciega – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Musgo (<i>Bryophyta sp</i>) y Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:	0695723 – 9661436		Altura:	3808 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Fondo de valle		Pendiente:	5%	
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol		Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					B	
Horizontes						
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color
H	24	Muchas	No	Desagregado		10YR 2/2
Ah	57	Muchas	No	Desagregado	Arcillosa	10YR 1.7/1






SITIO 9		Zh-P-An-T1(9)				
Localización		Cerca del bosque de Polilepis – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:	0695875 – 9661533		Altura:	3783 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Punta de ladera		Pendiente:	5%	
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol		Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					A	
Horizontes						
H y Prof. (cm)	Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color	
Ah	24	Muchas	No	Granular	Franco	10YR 2/1
C	43	Poco	Poco	Bloque	Arcillo arenoso	2.5Y 6/1




SITIO 10		Zh-Bp-An-T1(10)				
Localización:		Bosque de Polilepis – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Quinua (<i>Polylepis reticulata</i>)			PERFIL	
Punto GPS:	0696027 – 9661631		Altura:	3790 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Ladera media		Pendiente:	1%	
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol	Erosión/tipo:		Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					B	
Horizontes						
H y Prof. (cm)		Pre. Raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color
Ah	40	Poco	No	Migajón	Franco	10YR 1.7/1


A photograph showing a soil profile in a field. A person's hand, wearing a blue sleeve and a green wristband, is holding a pink and white measuring stick vertically against the soil. The soil is dark brown and appears moist. There are some small green plants growing on the surface of the soil.



SITIO 11		Zh-P-An-T1(11)					
Localización:		Cerca del cerramiento – Quimsacocha – Azuay – Ecuador					
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL		
Punto GPS:		0696178 – 9661729		Altura:		3826 m s.n.m.	
Posición fisiográfica:		Ladera alta		Pendiente:		20%	
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol		Erosión/tipo:		Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):						B	
Horizontes							
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color	
Ah	25	Muchas	No	Granular	Franco limoso	10YR 1.7/1	




SITIO 12		Zh-P-An-T1(12)				
Localización:		Cerca de la estación – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)				PERFIL
Punto GPS:		0696330 – 9661827		Altura:	3815 m s.n.m.	
Posición fisiográfica:		Punta de ladera		Pendiente:	11%	
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol		Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					B	
Horizontes						
H y Prof. (cm)		Pre. Raíces	Pre. Piedras	Estructura	Textura	Color
Ah	40	Muchas	No	Granular	Franco arcillo limoso	7.5YR 2/2
BC	23	Pocas	No	Bloque	Franco	10YR 3/2
C	70	Pocas	No	Bloque	Franco arenoso	2.5Y 7/2






SITIO 13		Zh-P-Hi-T1(13)				
Localización:		Cerca de la estación – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:		0696178 – 9661729		Altura:	3810 m s.n.m.	
Posición fisiográfica:		Punta de ladera		Pendiente:	15%	
Tipo de suelo/horizonte:			Histosol		Erosión/tipo:	Nula
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					B	
Horizontes						
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. Piedras	Estructura	Textura	Color
H	30	Muchas	No	Desagregado		7.5YR 2/3
AH	28	Muchas	No	Desagregado		7.5YR 2/3



SITIO 14		Zh-P-An-T1(14)				
Localización:		Entrada a tres lagunas – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:	0696633 – 9662022		Altura:	3822 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Ladera alta		Pendiente:	3%	
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol		Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					C	
Horizontes						
H y Prof. (cm)	Pre. raíces	Pre. Piedras	Estructura	Textura	Color	
Ah	36	Muchas	No	Granular	Franco arcillo limoso	7.5YR 17/1





SITIO 15		Zh-P-Hi-T1(15)				
Localización:		Parte alta de la estación – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)				PERFIL
Punto GPS:	0696785 – 9662120		Altura:	3832 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Fondo de valle		Pendiente:	1%	
Tipo de suelo/horizonte:			Histosol	Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):						C
Horizontes						
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color
H	43	Muchas	No	Desagregado		7.5YR 3/2
AH	40	Muchas	No	Desagregado		7.5YR 1.7/1
C	22	Pocas	No	Desagregado	Arenoso	5Y 5/3




SITIO 16		Zh-P-An-T1(16)				
Localización:		Monte azul – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)				PERFIL
Punto GPS:	0696908 – 9662203		Altura:	3840 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Ladera alta		Pendiente:	3%	
Tipo de suelo/horizonte:			Andosol	Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):						C
Horizontes						
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color
Ah	43	Común	Pocas	Migajón	Arcilloso	7.5YR 1.7/1

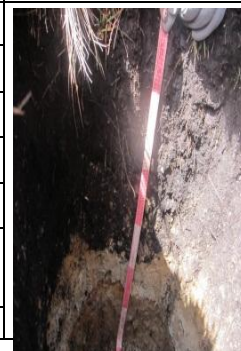




b) Descripción de perfiles del transecto 2

SITIO 1		CÓDIGO		Zh-P-An-T2(1)		
Localización		Vertedero 5 – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:	0695269 – 9660053		Altura:	3782 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Cumbre		Pendiente:	2%	
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol		Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					C	
Horizontes						
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color
Ah	40	Muchas	No	Migajón	Franco	7.5YR 1.7/1

A photograph showing a soil profile. A red and white measuring tape is visible on the left side, indicating the depth of the soil layers. The soil appears to be a dark, moist, and somewhat crumbly material, consistent with an Andosol. The background is dark and out of focus.



SITIO 2		CÓDIGO		Zh-P-Cm-T2(2)		
Localización:		Vertedero 5 – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:	0695453 – 9660045		Altura:	3758 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Ladera alta		Pendiente:	56%	
Tipo de suelo/horizonte:			Andosol	Erosión/tipo:	Baja	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					C	
Horizontes						
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. Piedras	Estructura	Textura	Color
Ah	34	Poco	Pocas (grandes)	Granular	Franca	7.5YR 2/2






SITIO 3		CÓDIGO		Zh-P-An-T2(3)		
Localización:		Camino a la casa del Sr. Wilmer – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:	0695637 – 9660037		Altura:	3680 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Ladera baja		Pendiente:	32%	
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol		Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					B	
Horizontes						
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color
Ah	40	Muchas	No	Migajón	Franco	5Y 6/2
C	60	Pocas	No	Bloque	Arenoso	7.5YR 1.7/1




SITIO 4		Código			Zh-P-Hi-T2(4)	
Localización:		Vertedero 5 – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>) y almohadilla (<i>Xenophyllum humile</i>)			PERFIL	
Punto GPS:	0695821 – 9660029	Altura:	3656 m s.n.m.			
Posición fisiográfica:		Fondo de valle		Pendiente:	2%	
Tipo de suelo/horizonte:		Histosol		Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					A	
Horizontes						
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color
H	24	Muchas	No	Desagregado		7.5YR 2/3
HA	29.5	Muchas	No	Desagregado		7.5YR 1.7/1
H2	82.5	Muchas	No	Desagregado		10YR 1.7/1


A photograph showing a vertical soil profile. A red measuring tape is placed vertically against the soil face, with yellow markers at the top and bottom. The soil is dark, moist, and appears to be a histosol. The profile shows some vertical cracking and a relatively uniform texture.






SITIO 5		CÓDIGO			Zh-P-An-T2(5)		
Localización:		Vertedero 5 – Quimsacocha – Azuay – Ecuador					
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)					
Punto GPS:	0696004 – 9660021	Altura:	3683 m s.n.m.				
Posición fisiográfica:		Ladera alta		Pendiente:			6%
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol	Erosión/tipo:	Nula			
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):				C			
Horizontes							
H y Prof. (cm)	Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura			Color
Ah	38	Muchas	No	Migajón			Franco



SITIO 6		CÓDIGO Zh-P-An-T2(6)				
Localización:		Vertedero 5 – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL 	
Punto GPS:		0696188 9660013	– Altura:	3680 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Ladera media		Pendiente:		12%
Tipo de suelo/horizonte:			Andosol	Erosión/tipo:		Nula
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):						A
Horizontes						
Prof. H. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color
Ah	40	Pocas	No	Granular	Franco	7.5YR 1.771






SITIO 7		CÓDIGO			Zh-P-Cm-T2(7)		
Localización:		Bosque Polilepis , cerca V7 – Quimsacocha – Azuay – Ecuador					
Vegetación:		Quinua (<i>Polylepis reticulata</i>)				PERFIL	
Punto GPS:		0696372 – 9660005		Altura:	3675 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Fondo de valle		Pendiente:	1%		
Tipo de suelo/horizonte:		Cambisol		Erosión/tipo:	Nula		
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					A		
Horizontes							
Prof. (cm)	H.	Pre. Raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color	
A	46	Pocas	Pocas	Granular	franco	7.5YR 4/2	
BA	30.5	Pocas	No	Bloque	franco limoso	10YR 1.7/1	
B	34	Pocas	No	Desagregado	franco arcillo limoso	10YR 6/6	
BH	49	No	No	Desagregado	franco limoso	10YR 4/4	





SITIO 8		CÓDIGO			Zh-P-An-T2(8)		
Localización:		Cerca del B. Polilepis – Quimsacocha – Azuay – Ecuador					
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL		
Punto GPS:	0696556 – 9659996		Altura:	3680 m s.n.m.			
Posición fisiográfica:		Ladera Baja		Pendiente:	16%		
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol		Erosión/tipo:	Nula		
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					A		
Horizontes							
H y Prof. (cm)	Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color		
Ah	30	Muchas	No	Granular	Franco	7.5YR 1.7/1	







SITIO 9		CÓDIGO		Zh-P-An-T2(9)			
Localización:		Cerca del B. Polilepis – Quimsacocha – Azuay – Ecuador					
Cobertura/uso del suelo:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>) y aguarongo (<i>Puya clava-herculis</i>)				PERFIL 	
Punto GPS:	0696740 – 9659988		Altura:	3685 m s.n.m.			
Posición fisiográfica:		Ladera alta		Pendiente:	6%		
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol		Erosión/tipo:	Nula		
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					A		
Horizontes							
H y Prof. (cm)	Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color		
Ah	36	Muchas	No	Granular	Franco	7.5YR 1.7/1	


SITIO 10		CÓDIGO		Zh-P-An-T2(10)			
Localización:		Cerca de pozas – Quimsacocha – Azuay – Ecuador					
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>) y almohadilla (<i>Xenophyllum humile</i>)				PERFIL 	
Punto GPS:	0696924 – 9659980	Altura:	3680 m s.n.m.				
Posición fisiográfica:		Ladera Baja		Pendiente:	4%		
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol		Erosión/tipo:	Nula		
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					A		
Horizontes							
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura		Color
Ah	38	Muchas	No	Granular	Franco	7.5YR 1.7/1	
C	20	Común	No	Desagregado	Arenoso	2.5Y 5/4	



SITIO 11		CÓDIGO		Zh-P-An-T2(11)			
Localización:		Cerca de pozas – Quimsacocha – Azuay – Ecuador					
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)				PERFIL	
Punto GPS:		0697167 – 9659964		Altura:	3735 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Ladera media			Pendiente:	9%	
Tipo de suelo/horizonte:			Andosol		Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					B		
Horizontes							
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color	
Ah	27	Muchas	No	Granular	Franco	7.5YR 1.7/1	




SITIO 12		CÓDIGO		Zh-P-An-T2(12)		
Localización:		Pozas – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:	0697357 – 9659956		Altura:	3757 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Ladera alta		Pendiente:	16%	
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol		Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					B	
Horizontes						
H y Prof. (cm)	Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color	
Ah	35	Muchas	No	Migajón	Franco	
					10YR 1.7/1	








SITIO 13		CÓDIGO		Zh-P-Hi-T2(13)			
Localización:		Cerca de Pozas – Quimsacocha – Azuay – Ecuador					
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL 		
Punto GPS:	0697499 – 9659948	Altura:	3774 m s.n.m.				
Posición fisiográfica:		Fondo de valle		Pendiente:			3%
Tipo de suelo/horizonte:		Histosol		Erosión/tipo:			Nula
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):							C
Horizontes							
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color	
H	42	Muchas	No	Desagregado		7.5YR 1.7/1	
AH	37	Muchas	No	Desagregado		7.5YR 2/3	

SITIO 14		CÓDIGO		Zh-P-An-T2(14) (08/09/2012)			
Localización:			Estación de IAMGOLD – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:			Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:		0697664 – 9659940		Altura:	3790 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:			Cumbre		Pendiente:	32%	
Tipo de suelo/horizonte:				Andosol	Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):						C	
Horizontes							
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color	
Ah	54	Común	No	Migajón	Franco limoso	5Y 1.7/1	
AR	20	Pocas	Pocas	-----	Franco	7.5YR 1.7/1	






c) Descripción de los perfiles del transecto 3

SITIO 1		CÓDIGO		Zh-P-An-T3(1)		
Localización:		Línea de cumbre L. ciega – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:	0694724 – 9660376		Altura:	3786 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Cumbre		Pendiente:	1%	
Tipo de suelo/horizonte:			Andosol	Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					C	
Horizontes						
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color
Ah	25	Muchas	No	Migajón	Franco limoso	7.5YR 1.7/1



SITIO 2		CÓDIGO		Zh-P-Hi-T3(2)			
Localización:		Laguna ciega – Quimsacocha – Azuay – Ecuador					
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)				PERFIL 	
Punto GPS:	0694899 – 9660433		Altura:	3784 m s.n.m.			
Posición fisiográfica:		Fondo de valle		Pendiente:	1%		
Tipo de suelo/horizonte:		Histosol		Erosión/tipo:	Nula		
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					C		
Horizontes							
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. Piedras	Estructura	Textura		Color
H	200	Muchas	No	Desagregado	Sin textura		7.5YR 2/1






SITIO 3		CÓDIGO		Zh-Gr-Hi-T3(3)			
Localización:		Laguna ciega – Quimsacocha – Azuay – Ecuador					
Vegetación:		Gramíneas (<i>Calamagrostis intermedia</i>)				PERFIL	
Punto GPS:		0695075 – 9660499		Altura:		3780 m s.n.m.	
Posición fisiográfica:		Ladera baja		Pendiente:		1%	
Tipo de suelo/horizonte:		Histosol		Erosión/tipo:		Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):						C	
Horizontes							
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. Piedras	Estructura	Textura	Color	
H	180	Muchas	No	Desagregado	Sin textura	7.5YR 2/2	




SITIO 4		CÓDIGO		Zh-AI-Hi-T3(4)		
Localización:		Laguna ciega – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Gramíneas (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:		0695250 – 9660546		Altura:	3780 m s.n.m.	
Posición fisiográfica:		Fondo de valle		Pendiente:	3%	
Tipo de suelo/horizonte:		Histosol		Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					C	
Horizontes						
Prof. (cm)	H.	Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color
H	41	Muchas	No	Desagregado	Sin textura	7.5YR 2/3
AH	150	Muchas	No	Desagregado	Sin textura	10YR 2/2

A photograph showing a vertical soil profile. A measuring tape is placed vertically against the soil face, with the 100 cm mark visible. The soil is dark brown and appears moist. There is some vegetation at the top of the profile.





SITIO 5		CÓDIGO		Zh-P-An-T3(5)		
Localización:		Bajada a laguna ciega – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)				
Punto GPS:	0695425 – 9660602	Altura:	3810 m s.n.m.			
Posición fisiográfica:		Ladera media		Pendiente:	40%	
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol		Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):					C	
Horizontes						
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	
Ah	32	Muchas	No	Migajón	Franco	10YR 1.7/1



SITIO 6		CÓDIGO		Zh-P-An-T3(6)			
Localización:			Cerca del humedad – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:			Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:		0695600 – 9660659		Altura:	3791 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:			Ladera media		Pendiente:	40%	
Tipo de suelo/horizonte:			Andosol		Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):						C	
Horizontes							
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color	
Ah	60	Común	No	Granular	Franco	10YR 2/1	






SITIO 7		CÓDIGO		Zh-P-An-T3(7) (19/09/2012)				
Localización:			Subida a laguna ciega – Quimsacocha – Azuay – Ecuador					
Vegetación:			Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)				PERFIL	
Punto GPS:		0695775 – 9660716		Altura:		3743 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:			Ladera baja		Pendiente:		31%	
Tipo de suelo/horizonte:			Andosol		Erosión/tipo:		Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):							B	
Horizontes								
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. Piedras	Estructura		Textura	Color	
Ah	24	Muchos	No	Migajón		Franco	7.5YR 1.7/1	



SITIO 8		CÓDIGO		Zh-P-An-T3(8)			
Localización:		Cerca al humedal – Quimsacocha – Azuay – Ecuador					
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)				PERFIL	
Punto GPS:		0695950 – 9660772		Altura:		3736 m s.n.m.	
Posición fisiográfica:			Ladera media		Pendiente:		13%
Tipo de suelo/horizonte:			Andosol		Erosión/tipo:		Nula
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):							B
Horizontes							
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. Piedras	Estructura	Textura	Color	
Ah	35	Muchas	No	Granular	Franco	10YR 1.7/1	

A photograph showing a soil profile in a field. A pink measuring tape is stretched vertically against the soil face, indicating depth. The soil appears dark and moist, with some organic matter visible at the top. The background shows some vegetation and a bright sky.





SITIO 9		CÓDIGO		Zh-P-An-T3(9)			
Localización:			Bosques de Polilepis – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:			Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:		0696125 – 9660829		Altura:		3711 m s.n.m.	
Posición fisiográfica:			Ladera baja		Pendiente:		21%
Tipo de suelo/horizonte:			Andosol		Erosión/tipo:		Nula
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):							A
Horizontes							
Prof. H. (cm)		Pre. raíces	Pre. Piedras	Estructura	Textura	Color	
Ah	28	Muchas	No	Migajón	Franco	7.5YR 1.7/1	



SITIO 10		CÓDIGO		Zh-P-An-T3(10)				
Localización:			Bosques de Polilepis – Quimsacocha – Azuay – Ecuador					
Vegetación:			Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)					
Punto GPS:		0696300 – 9660885		Altura:		3706 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:			Ladera baja		Pendiente:		2%	
Tipo de suelo/horizonte:			Andosol		Erosión/tipo:		Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):							A	
Horizontes								
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. Piedras	Estructura		Textura	Color	
Ah	35	Pocas	No	Granular		Franco limoso	7.5YR 1.7/1	



SITIO 11		CÓDIGO		Zh-P-An-T3(11)				
Localización:			Encima del vertedero viejo – Quimsacocha – Azuay – Ecuador					
Vegetación:			Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>) y aguarongo (<i>Puya clava – herculis</i>)				PERFIL	
Punto GPS:		0696473 – 9660945		Altura:		3728 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:			Ladera baja		Pendiente:		3%	
Tipo de suelo/horizonte:			Andosol		Erosión/tipo:		Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):							A	
Horizontes								
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. Piedras	Estructura		Textura	Color	
Ah	40	Muchas	No	Granular		Franco	10YR 1.7/1	




SITIO 12		CÓDIGO	Zh-P-An-T3(12)				
Localización:		Cerca del vertedero viejo – Quimsacocha – Azuay – Ecuador					
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)				PERFIL	
Punto GPS:		0696650 – 9660999		Altura:		3721 m s.n.m.	
Posición fisiográfica:		Punta de ladera		Pendiente:		3%	
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol		Erosión/tipo:		Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):						A	
Horizontes							
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. Piedras	Estructura	Textura	Color	
Ah	43	Pocas	No	Granular	Franco limoso	7.5YR 1.7/1	





SITIO 13		CÓDIGO		Zh-P-An-T3(13)			
Localización:			Cerca de una pequeña estación – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:			Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:		0696826 – 9661056		Altura:		3750 m s.n.m.	
Posición fisiográfica:			Ladera media		Pendiente:		40%
Tipo de suelo/horizonte:			Andosol		Erosión/tipo:		Nula
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):							B
Horizontes							
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. Piedras	Estructura	Textura	Color	
Ah	45	Pocas	No	Migajón	Franco	7.5YR 1.7/1	





SITIO 14		CÓDIGO		Zh-P-An-T3(14)			
Localización:			Cerca del vertedero viejo – Quimsacocha – Azuay – Ecuador				
Vegetación:			Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)			PERFIL	
Punto GPS:		0697000 – 9661112		Altura:		3810 m s.n.m.	
Posición fisiográfica:			Ladera alta		Pendiente:		27%
Tipo de suelo/horizonte:			Andosol		Erosión/tipo:		Nula
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):							C
Horizontes							
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. piedras	Estructura	Textura	Color	
Ah	40	Muchas	Poco	Granular	Franco	7.5YR 1.7/1	





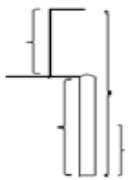
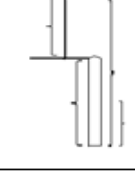
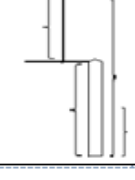


SITIO 15		CÓDIGO	Zh-P-An-T3(15)				
Localización:		Entrada a sombrebera					
Vegetación:		Pajonal (<i>Calamagrostis intermedia</i>)				PERFIL	
Punto GPS:		0697175 – 9661168		Altura:	3840 m s.n.m.		
Posición fisiográfica:		Cumbre			Pendiente:	5%	
Tipo de suelo/horizonte:		Andosol			Erosión/tipo:	Nula	
Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):						C	
Horizontes							
H y Prof. (cm)		Pre. raíces	Pre. Piedras	Estructura	Textura	Color	
Ah	35	Pocas	No	Migajón	Franco	10YR 1.7/1	



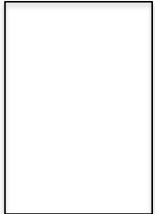
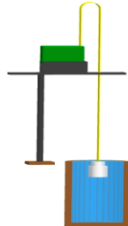
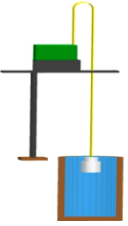
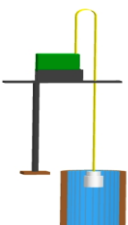


Anexo 10: Ficha de datos de campo y de registro de lecturas del método de pozo invertido

DATOS SALIDA DE CAMPO									
Proyecto <u>Senescyt: PIC-11-715, "Cuantificación de los Servicios Hidrológicos en Cuencas Hidrográficas Altoandinas"</u>									
Responsable:									
Fecha:			Posición-paisaje (A/baja, B/media, C/alta):			Código muestra:			
Punto GPS:			Prueba #:			Número de fotografía perfil:			
Localización (Sector):			Cobertura/uso del suelo:			Profundidad-prueba:			
Número de fotografía:			Tipo de suelo/horizonte:			Número			
Horizonte:			Pendiente:			kopecky:			
Profundidad del horizonte:			Erosión/tipo:			Altura:			
Color:			Presencia de raíces:						
Textura:			Presencia de piedras:						
Estructura:			Posición fisiográfica:			GRAFICO PERFIL			
LEC-FONDO A ESTRU cm:		Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Observaciones				
LEC-SUPERFICIE- PROF POZO cm:									
Ø AGUJERO cm:									
Tiempo (hora) (min)		Lectura (cm) pozo 1	Δ h	Lectura (cm) pozo 2	Δ h	Lectura (cm) pozo 3	Δ h		
								MEDIDAS POZO 1 	
								MEDIDAS POZO 2 	
								MEDIDAS POZO 3 	



Anexo 11: Ficha de datos de campo para pruebas de pozo

DATOS DE CAMPO									
Responsable:									
Fecha:		Posición paisaje (A/baja, B/media, C/alta):				CODIGO MUESTRA			
Punto GPS:		Prueba #:				FOTOGRAFIA #			
Localización (Sector):		Cobertura/uso del suelo:				PROFUNDIDAD PRUEBA			
Fotografía #:		Tipo de suelo/horizonte:				ANILLOS			
Horizonte:		Pendiente:				KOPECKY			
Profundidad del horizonte:		Erosión/tipo:				Altura (ms.n.m):			
Color:		Presencia de raíces:							
Textura:		Presencia de piedras:							
Estructura:		Posición fisiográfica:						GRAFICO PERFIL	
		POZO 1		POZO 2		POZO 3		Observaciones	
LEC-FONDO cm:									
LEC-SUPERFICIE cm:									
LEC-NIV-FREATICO:									
NIV-FREATICO:									
FONDO POZO:									
AGUJERO:									
Tiempo		Lectura		Dh		Lectura		Dh	
(Hora)	(min)	(cm) pozo1		(cm) pozo2		(cm) pozo3		MEDIDAS POZO 1	
									
								MEDIDAS POZO 2	
									
								MEDIDAS POZO 3	
									

[illegible]



10. GLOSARIO

Alofana: es una asociación de materia orgánica y arcilla. (Llambí et al., 2012).

Bioma: Conjunto de ecosistemas que se caracterizan por una composición de especies y un espectro de tipos biológicos de plantas (árbol, hierba, arbusto) con un funcionamiento y un ajuste al clima y al suelo característicos. Normalmente están definidos por la estructura de la vegetación y el clima. En varios casos el bioma se define también por componentes geográficos (latitud y altitud) y aun se usan nombres regionales (Olivier, 1981).

Capacidad de campo: es el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo luego de la saturación o de haber sido mojado abundantemente y después dejado drenar libremente, evitando pérdida por evapotranspiración hasta que la humedad del suelo se estabilice (Llambí et al., 2012).

Conductividad hidráulica: es un parámetro que nos explica el movimiento del agua en el interior del suelo, en todas las direcciones, en estado de saturación o no saturación (Calvache, 2009).

Densidad Aparente: es la masa por unidad de volumen de suelo. Como la densidad aparente cambia con el contenido de agua, debe especificarse el estado de humedad de la muestra (FAO, 2006).

Epipedones: son horizontes eluviales superiores, se caracterizan por presentar colores oscuros, debido a la incorporación de materia orgánica por aporte de hojarasca y raíces (Porta et al., 2003).

Erosión: es un proceso de trayectoria regresiva. Consiste en la pérdida de integridad del suelo empezando por la parte superior del perfil. El suelo



puede llegar a ver truncados sus horizontes superiores, determinado unas nuevas condiciones generadoras en el suelo resultante (Calvache, 2009).

Fondo: corresponden a superficies de depósito, en las que confluyen las aguas de escorrentía (Porta et al., 2003).

Geoforma: es cualquier componente o rasgo físico de la superficie terrestre que ha sido formado por procesos naturales y que tiene una forma o cuerpo diferente (FAO, 2006).

Hidromorfía: Se reconoce por hidromorfía a un estado permanente o temporal de saturación de agua en el suelo que lleva asociado la existencia de condiciones reductoras. Las acciones de la hidromorfía tienen importantes efectos en el suelo, que se reflejan tanto en sus constituyentes, propiedades, formación y evolución, como en sus posibilidades de explotación (Aguilar, et al., 2001).

Infiltración: es el flujo o ingreso del agua dentro del suelo a través de poros. La tasa de infiltración es el volumen de agua que entra a través de una superficie y en un tiempo determinado (Llambí et al., 2012).

Interfluvios: hacen referencia a las divisoras de agua. Pueden ser crestas, tabulares o plataformas y en sillas de montar (Porta et al., 2003).

Ladera: es un elemento inclinado con respecto a la horizontal, que enlaza una divisora de agua con un fondo. Es un sistema forma-proceso, dado que su desarrollo, su morfología depende de los procesos que actúan sobre ella y los procesos dependen a su vez de la forma (Porta et al., 2003).

Materia orgánica: La materia orgánica se refiere a todo el material de origen animal o vegetal que este descompuesto, parcialmente descompuesto y sin descomposición. Generalmente es sinónimo con el humus aunque este término es más usado cuando nos referimos a la materia orgánica bien descompuesta llamada sustancias húmicas (FAO, 2006).



Material parental: son minerales no consolidados más o menos meteorizados químicamente o la materia orgánica a partir del cual se desarrolla el suelo por procesos edafogénicos (Llambí et al., 2012).

Meteorización: son procesos donde las rocas y minerales expuestos al clima, cambian en carácter, se desintegran, se descomponen y sintetizan nuevos compuestos y minerales de arcilla, en el proceso de hacer material parental de los suelos. Estos cambios son físicos y químicos (Llambí et al., 2012).

Posición del paisaje: indica la posición relativa del sitio dentro la unidad de tierra. Esta afecta las condiciones hidrológicas del sitio (drenaje externo e interno; por ejemplo: escurrimiento subsuperficial), que puede ser interpretado como predominante receptor de agua, transportador de agua o ninguno de ellos (FAO, 2006).

pF: es el logaritmo de una columna de agua expresada en cm ($\log[h]$) y es igual a la succión o presión con que el agua es retenida. La carga de presión también se expresa en forma de columna de agua, es así que la presión atmosférica (1bar) es equivalente a la presión que ejerce una columna de agua de 10 m (Llambí et al., 2012).

Saprolito: definido como un material blando producto de la meteorización química de las rocas, y caracterizado por la formación de minerales secundarios, en el que la estructura y fábrica originales están preservadas debido al emplazamiento pseudomórfico de los minerales originales sin alteración y transporte subsecuentes (Aristizábal, et al., 2011).